

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**MAESTRÍA EN GEOMÁTICA ORIENTADA
AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

TÍTULO:

**MONITOREO DE MOVIMIENTOS DE TERRENO EN EL SECTOR DEL CERRO
TAMUGA DEL CANTON PAUTE MEDIANTE TÉCNICAS DGPS**

Proyecto de graduación previo a la obtención del

Grado de Magister en Geomática.

Autor:

**Ing. Freddy Alexander Once Cárdenas
C.I. 0103919114**

Director:

**Ing. Jaime Asdrubal Bojorque Iñiguez, PhD
C.I. 0102857885**

JULIO – 2016

CUENCA ECUADOR



RESUMEN

Este estudio consiste en implementar un sistema de monitoreo geodésico en la zona de vulnerabilidad a deslizamientos ubicado en el Cerro Tamuga del cantón Paute, provincia del Azuay, la metodología empleada consiste en utilizar la técnica DGPS (Differential Global Positioning System), la misma que incluye el uso simultáneo de dos o más receptores, el método de medida empleado para las observaciones DGPS es el estático rápido con un tiempo de medida de diez minutos para cada hito, los resultados fueron comparados con mediciones realizadas con estación total, para lo que se aplicó el método de medida y cálculo de triangulación; que consiste en observar desde dos bases diferentes al mismo hito para realizar la triangulación y procesamiento de los datos.

Durante la etapa de muestreo se realizó 20 campañas de medición con técnicas DGPS, monitoreando un total de 14 hitos, con técnicas convencionales (Topográficas) se realizó 7 campañas y se monitoreó 14 hitos. De estos datos se obtiene la diferencia entre la última y la primera medición tanto para valores de X, Y y Z, y por tanto se obtiene la variación de precisión para los dos métodos de medición (DGPS y Estación Total). Con los resultados (ΔX , ΔY , ΔZ) se realiza el análisis de la direccionalidad de los vectores de desplazamiento mediante la diferencia entre el promedio de todas las mediciones con el primer punto medido. Los resultados DGPS presentan menor variabilidad de los datos, por lo que se sugiere emplear esta técnica en la medición de desplazamiento en extensiones grandes. Con relación al caso de estudio del Cerro Tamuga, se determinó que mediante las mediciones con DGPS, éste no presenta movimientos, pero se deben continuar las campañas de monitoreo para analizar la situación a largo plazo.

PALABRAS CLAVE:

DGPS (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial), Topográficas, Técnicas Convencionales, GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite), Triangulación, Estático Rápido



ABSTRACT

This study is to implement a geodesic monitoring system in the vulnerability area of landslides of the Cerro Tamuga on Paute, Azuay Province; the methodology use a technique name Differential Global Positioning System (DGPS), which includes the use of two or more receivers simultaneous, the method used for DGPS observations is the fast static; with a time of ten minutes for each milestone. The results were compared with measurements made with total station, for which it is applied a method of measures and triangulation; which is seen from two different databases at the same milestone for triangulation and data processing.

During the sampling stage 20 campaigns were performed with DGPS techniques, monitoring a total of 14 milestones, with conventional techniques (Topographic) was made 7 campaigns of 14 milestones, from this data was obtain the difference between the last and the first campaig for both methods the values of X , Y and Z , and therefore the variation of accuracy is obtained for two different methods (DGPS and total station), with the results (ΔX , ΔY , ΔZ) is performed analysis of the directionality of the vectors by the difference between the average of all measurements with the first point measured. The results show less variability DGPS data, so I suggest using this technique in measuring displacement in large areas. Regarding the case study of Cerro Tamuga it was determined that by DGPS measurements, this not moving, but should continue monitoring campaigns to analyze the long-term situation.

KEYWORDS:

DGPS (Differential Global Positioning System), Topographical, Conventional methods, GNSS (Global Navegation Satellite System), Triangulation, Fast static



INDICE GENERAL

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
INDICE DE FIGURAS.....	6
INDICE DE ILUSTRACIONES	7
INDICE DE TABLAS	8
CAPITULO I	14
INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. Descripción y ubicación de la zona de estudio.....	16
1.3. Estado del Arte de Técnicas Geodésicas.....	17
1.3.1. Sistema de Posicionamiento Global.....	17
1.4. Descripción del problema y/o necesidad.....	20
1.4.1. Problemas a resolver	20
1.4.2. Necesidades a satisfacer	20
1.5. Justificación del proyecto de tesis	21
1.6. Objetivo General y Específicos	21
1.6.1. Objetivo General.....	21
1.6.2. Objetivos Específicos.....	21
1.7. Alcance del Proyecto.	22
1.8. Metodología.....	22
1.8.1. Planificación, Ubicación de la estación base y establecimiento de la línea base. 24	
1.8.2. Levantamiento de los puntos de control geodésico	30
1.8.3. Análisis (Descarga de Datos) y Monitoreo de los puntos de control.....	31
1.8.4. Análisis y procesamientos de datos obtenidos con técnicas GPS y Topográficas.....	31
CAPITULO II	32
2.1. Sistema Global de Navegación por Satélite.....	32



2.2.	Funcionamiento del Sistema GNSS.....	32
2.2.1.	Triangulación.....	33
2.2.2.	Distancias.	36
2.2.3.	Tiempo.	38
2.2.4.	Posición.....	39
2.2.5.	Corrección.	39
2.3.	Composición del Sistema GNSS	40
2.3.1.	Segmento Espacial.	40
2.3.2.	Segmento Control.....	41
2.3.3.	Segmento Usuario.....	43
2.4.	Aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	44
2.5.	Fuentes de Error del GPS.....	46
2.5.1.	Errores dependientes del satélite.	46
2.5.2.	Errores dependientes de la propagación de la señal.	47
2.5.3.	Errores Dependientes del Receptor	51
CAPITULO III	54
3.1	. Técnicas de medición con DGPS y estación total	54
3.1.1.	Método Estático	54
3.1.2.	Método Estático Rápido	55
3.1.3.	Método Cinemático	56
3.1.4.	Método Stop & Go.....	57
3.1.5.	Método Cinemático en Tiempo Real (RTK)	58
3.2.	Técnicas de Medición con Estación Total	59
3.2.1.	Sistemas Topográficos	60
3.2.2.	Métodos de Medición Topográficos.....	61
CAPITULO IV	63
4.1	Resultados y Discusión.	63
4.2.	Conclusiones y Recomendaciones:.....	88
BIBLIOGRAFÍA.	91



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Trilateración desde satélites	34
Figura 2. Ubicación del receptor en la Intersección de dos esferas.....	34
Figura 3. Ubicación del receptor mediante la intersección de tres esferas.....	35
Figura 4. Ubicación Tridimensional de las esferas	35
Figura 5. Determinación del tiempo de propagación de la señal.....	37
Figura 6. Medición de distancias con medidas de fase.....	38
Figura 7. Constelación Satélites NAVSTAR GPS	41
Figura 8. Localización de las estaciones del segmento control.....	42
Figura 9. Otras antenas de rastreo y monitorización de satélites.	43
Figura 10. Refracción Ionosférica y Troposférica.....	49
Figura 11. Efecto Multitrayectoria.	50
Figura 12. Pérdida de ciclo	51
Figura 13. Metodología para realizar observaciones por el método estático	55
Figura 14. Esquema del Método Estático Rápido	56
Figura 15. Método cinemático	57
Figura 16. Método Stop & Go.....	57
Figura 17. Método RTK	59
Figura 18. Variabilidad de los vectores de desplazamiento con DGPS y Estación Total en el hito CJ-2.....	72
Figura 19. Variabilidad de los vectores de desplazamiento con DGPS y Estación Total en el hito N4.....	73
Figura 20. Representación gráfica de la dirección de los vectores resultantes en el área de estudio.....	74
Figura 21. Ajuste por mínimos cuadrados de los datos DGPS y Estación Total para el ΔX	78
Figura 22: Representación gráfica del intervalo de confianza al 95% de los ΔX (mm) medidos a través del DGPS y la Estación total.	79
Figura 23. Ajuste por mínimos cuadrados de los datos DGPS y Estación Total para el ΔY	82
Figura 24: Representación gráfica del intervalo de confianza al 95% de los ΔY (mm) medidos a través del DGPS y la Estación total.	83
Figura 25Ajuste por mínimos cuadrados de los datos DGPS y Estación Total para el ΔY	86
Figura 26: Representación gráfica del intervalo de confianza al 95% de los ΔZ (mm) medidos a través del DGPS y la Estación total.	87



INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación Geográfica de Área de Estudio	17
Ilustración 2. Ubicación de punto IGM y Estación Base.....	25
Ilustración 3. Ubicación de los puntos de control en el cerro Tamuga	27
Ilustración 4. Vista Panorámica del Cerro Tamuga.....	28
Ilustración 5. Punto de control (Hito CJ-2) medido con el receptor móvil (Rover).....	30



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de medida para el control de movimientos.....	23
Tabla 2. Coordenadas del punto IGM y Estación Base	24
Tabla 3. Hitos considerados para el monitoreo	26
Tabla 4. Distancia desde la Estación Base hacia los Hitos de monitoreo.....	29
Tabla 5. Error típico en metros por satélite	52
Tabla 6. Precisión Típica de la Posición.....	53
Tabla 7. Coordenadas X, Y, Z iniciales, finales y diferencias entre ambas, medidas con DGPS	64
Tabla 8. Coordenadas X, Y y Z iniciales, finales y diferencia entre ambas, de las observaciones mediante una Estación Total.	66
Tabla 9. Dirección y desplazamiento del vector resultante con datos DGPS.....	71
Tabla 10. Dirección y desplazamiento del vector resultante con datos de Estación Total. 71	
Tabla 11: Medias y desviación estándar del ΔX (mm) según los métodos de DGPS y Estación total para todos los hitos y años de estudio. Comparación de sus diferencias respecto del valor nulo mediante el t-test.....	75
Tabla 12: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje X y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método DGPS.	76
Tabla 13: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje X y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el uso de la Estación Total.....	77
Tabla 14: Medias y desviación estándar del ΔY (mm) según los métodos de DGPS y Estación total para todos los Hitos y años de estudio. Comparación de sus diferencias respecto del valor nulo mediante el t-test.....	80
Tabla 15: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje Y y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método DGPS.	81
Tabla 16: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje Y y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método Estación Total.....	81
Tabla 17: Medias y desviación estándar del ΔZ (mm) según los métodos de DGPS y Estación total para todos los Hitos y años de estudio. Comparación de sus diferencias respecto del valor nulo mediante el t-test.....	84



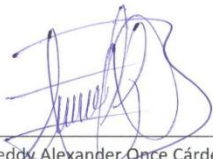
Tabla 18: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje Z y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método DGPS. 85

Tabla 19: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje Z y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método Estación Total..... 85



Yo, Freddy Alexander Once Cárdenas, autor de la tesis "Monitoreo de Movimientos de Terreno en el Sector del Cerro Tamuga del Cantón Paute mediante Técnicas DGPS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Enero del 2016



Freddy Alexander Once Cárdenas
010391911-4

Universidad de Cuenca



Universidad de Cuenca



Yo, Freddy Alexander Once Cárdenas, autor de la tesis "Monitoreo de Movimientos de Terreno en el Sector del Cerro Tamuga del Cantón Paute mediante Técnicas DGPS", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Magister en Geomática. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Enero del 2016


Freddy Alexander Once Cárdenas
010391911-4



DEDICATORIA

El presente trabajo ha sido desarrollado gracias al sacrificio, esmero y perseverancia en la ejecución del estudio y sobre todo gracias a la bondad de Dios que ha permitido continuar con uno de los objetivos planteados en mi vida personal y profesional.

A mi esposa Elvia, quien con su apoyo incondicional, ha sabido brindar sus palabras de aliento en todo momento, para no renunciar en la culminación de uno de mis sueños ahora alcanzados.

A mis hijos Alexandra, Sofía y Sebastián, que son el motor y el motivo principal de mí existir, a quienes les he quitado y perdido momentos únicos de su infancia por alcanzar una de mis metas.

A mis padres quienes me enseñaron con su ejemplo el camino de la vida y que mediante su sacrificio, esmero y dedicación sin importar las dificultades de la vida, han creído en mí, forjando un hombre de bien, respeto y consideración.



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Universidad de Cuenca, que nos ha permitido ser parte de la formación y capacitación de profesionales, que día a día surgen de tan prestigiosa Institución.

A los profesores de la maestría, quienes han impartido sus conocimientos para formar profesionales con una nueva visión capaces de incursionar proyectos de investigación en el adelanto y desarrollo del país

A la Secretaría del Agua - Demarcación Hidrográfica Santiago, al ser una Institución que constantemente incursiona proyectos de investigación en beneficio de la colectividad y por el apoyo brindado al permitir que se desarrolle el presente proyecto.

A mi director de Tesis Ing. Jaime Bojorque I., PhD, profesor de la Universidad de Cuenca, quién por sus conocimientos, consejos y recomendaciones sirvieron para la culminación del presente trabajo

Al Ing. Fernando Bermúdez PhD, Ing. Ángel Aguirre PhD, Ing. Enrique Acosta PhD, Magister Xavier Galarza, Ing. Bolívar Montesinos un agradecimiento sincero por el aporte de sus conocimientos en la realización del presente proyecto.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En el estudio “Avance en la Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Río Paute, Ecuador” conscientes de la vulnerabilidad de la cuenca del Paute a terrenos inestable y a las amenazas hidrometeorológicas de la ciudad de Cuenca, se considera imprescindible realizar investigaciones a fin de monitorear constantemente las zonas de deslizamiento en el marco de prevención de desastres naturales y tender una normativa conjunta con todas las instituciones responsables, por cuanto se han identificado grandes masas inestables activas, con velocidades de hasta 8.400 mm/año y volúmenes máximos de 850 millones de metros cúbicos, siendo estos muy frecuentes, (Pedro Basabe, 1996).

El macro deslizamiento del 29 de marzo de 1993 ocurrido en el sector denominado “La Josefina” deslizó alrededor de 30'000.000 m³, produciendo el taponamiento del curso de los ríos Paute y Jadán, ocasionando un represamiento de aguas de aproximadamente 200'000.000 m³. Este fenómeno significó dolorosas pérdidas de vidas humanas, daños materiales y trastocamiento de la economía regional y nacional. Las pérdidas para la región se calcularon en 300'000.000 millones de dólares, (CG-PAUTE, 2010).

Con el propósito de minimizar los riesgos y prevenir nuevos desastres, el Ex CG-Paute a través de su Departamento Técnico ha realizado controles permanentes a los cerros que presentan mayor vulnerabilidad a deslizamientos, como es el caso del Cerro Tamuga (CG-PAUTE, 2010), que actualmente está siendo intervenido en trabajos de estabilización, y monitoreado por varios técnicos especializados en la rama geológica, tanto nacionales como extranjeros, además por las instituciones públicas que están involucradas directamente dentro del área afectada (CG-PAUTE, 2010).

Los métodos de medida de los movimientos de ladera y de la subsidencia tienen por finalidad determinar la extensión de la zona afectada, las velocidades de desplazamiento o asiento, los mecanismos que rigen el fenómeno, los instantes críticos de rotura o aceleración, así como evaluar la efectividad de las medidas de corrección que se hayan



podido adoptar, (R. Tomás, et al., 2005). En efecto, la Geodesia permite determinar las coordenadas de la proyección de los puntos sobre la superficie terrestre, así como la altura sobre el nivel del mar (geoide) o de forma más precisa a una superficie arbitraria que sirve de fundamento para el cálculo de los puntos geodésicos, que recibe el nombre de elipsoide de referencia. Los Sistemas de Posicionamiento Global (Global Positioning Systems, GPS), la Determinación de Órbitas y Radio posicionamiento Integrado por Satélite (Determination d'Orbites et Radio- Positionnement Intégrés par Satellite, DORIS) y la Telemetría de Láser por Scanner (Scanner Laser Ranging, SLR) constituyen las principales técnicas geodésicas empleadas en estudios de las deformaciones de la superficie terrestre, (R. Tomás, et al., 2005).

También con el uso de imágenes de teledetección multiespectrales y multitemporales es de gran utilidad en la elaboración de algunos factores condicionantes de la inestabilidad, como los cambios recientes de usos de suelo en zonas donde la precisión en su realización se considere importante (Hervás, J., et al., 2002). Entre los factores condicionantes de la inestabilidad están, la pendiente del terreno, el tipo de materiales, la actividad de los movimientos de ladera, los cambios de uso de suelo y las proximidades a fondos de barrancos y a embalses, (Hervás, J., et al., 2002).

Es por ello que la técnica de monitoreo con GPS es una técnica práctica en la que únicamente es necesario conocer las coordenadas de un punto en función del tiempo, lo que ha permitido obtener precisiones de hasta milímetros lo que ha permitido medir los deslizamientos con suficiente precisión, al igual que con los métodos topográficos convencionales. Si se estableciese un sistema de coordenados tridimensional, las variaciones positivas como negativas de las diferencias de posición permiten obtener la componente de dirección: latitud, longitud y altitud del punto analizado y determinar el vector resultante de dirección; sin embargo, un monitoreo geodésico satelital debe ser complementado por la investigación geotécnica con el fin de obtener datos confiables en la determinación de las causas que inducen a un movimiento, (Belizario Zarate, 2011).

La Telemetría Láser por Scanner (*SLR, Scanner Laser Ranging*) es una técnica geodésica utilizada en la medición de la distancia existente entre una estación de rayos



láser situada en tierra y un satélite en órbita equipado con retrorreflectores. La existencia de un gran número de estaciones láser terrestre distribuidas por todo el mundo permite determinar la posición precisa de la órbita del satélite. El rastreo de satélites durante periodos de tiempo de varios años proporciona la distancia entre estaciones láser con precisión milimétrica, (R. Tomas, et. al, 2010).

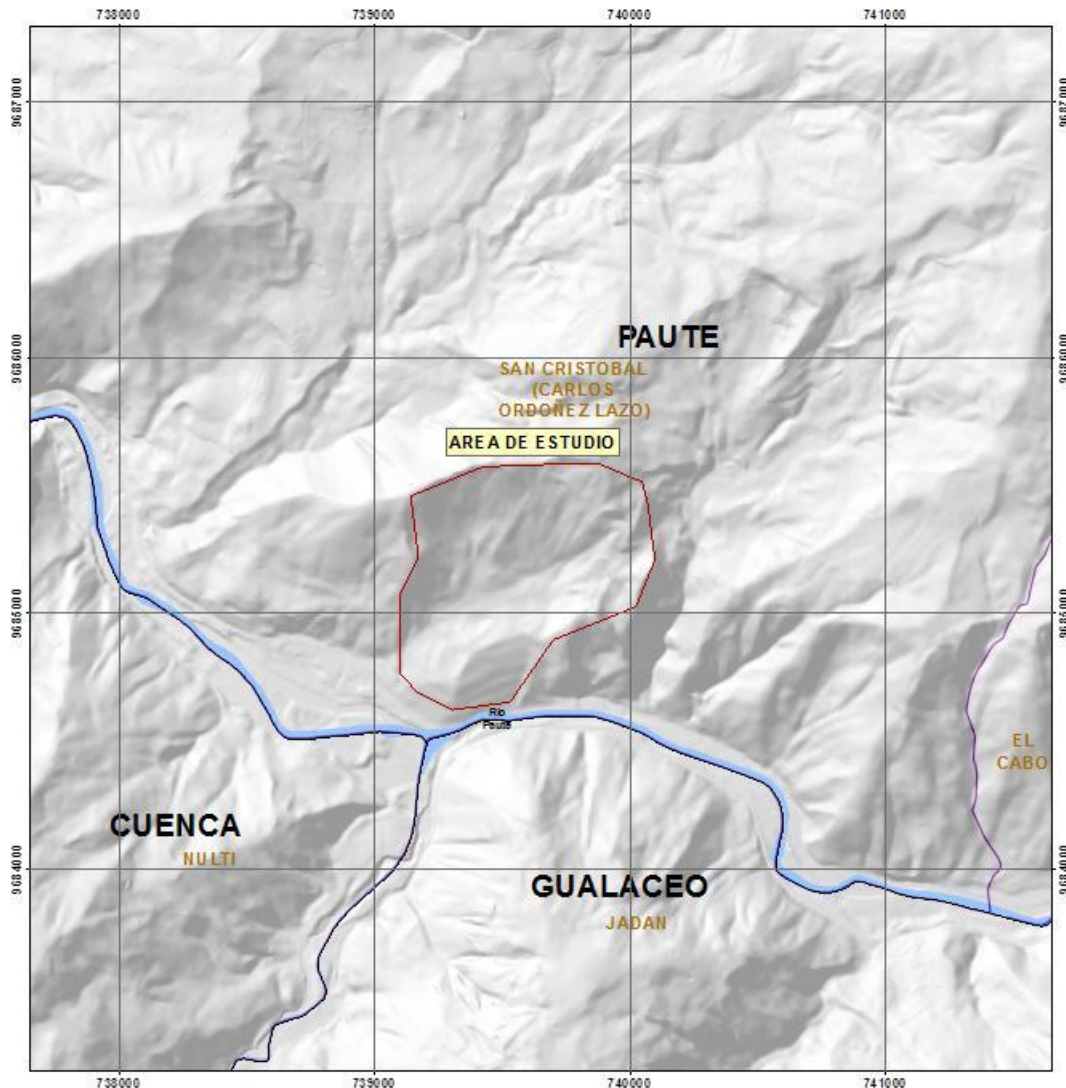
El sistema GPS diferencial (DGPS, Differential Global Positioning System) permite incrementar la precisión conseguida con el GPS convencional. Este sistema hace uso de una estación de referencia situada en tierra y de posición conocida para calcular y corregir los errores sistemáticos que suelen producirse en la determinación del movimiento del punto de control. Los sistemas GPS han sido utilizados en numerosas ocasiones con éxito en la monitorización de fenómenos de subsidencia y movimientos de ladera, (R. Tomás, et al., 2005).

1.2. Descripción y ubicación de la zona de estudio.

La zona de estudio se encuentra en el cantón Paute extendiéndose en un área de aproximadamente 276 km². Se ubicada en la parte central de la cuenca del Río Paute, políticamente limita al Norte con el cantón Azogues, al Sur con el cantón Gualaceo, al Este limita con los cantones Guachapala, Sevilla de Oro y El Pan, y al Oeste con los cantones Azogues y Cuenca.

La zona de estudio se encuentra dentro la jurisdicción de la parroquia San Cristóbal perteneciente al cantón Paute provincia del Azuay (Latitud 2° 50' 46.45" y longitud 78° 50' 36.08") como se puede ver en la Ilustración 1 la ubicación geográfica del área de estudio, que se extiende desde la cabecera parroquial de San Cristóbal por el Norte, por el Sur el Río Paute con los Cantones Gualaceo y Cuenca, al Este el cerro Mishquiyacu y al Oeste con la Loma del Tagual - El Descanso.

Ilustración 1. Ubicación Geográfica de Área de Estudio



Fuente: INEC 2012, MAGAP – MDE. 1:5000. 2012, CG-PAUTE 2008

1.3. Estado del Arte de Técnicas Geodésicas

1.3.1. Sistema de Posicionamiento Global.

El GPS es un sistema de posicionamiento global, radio/navegación y medida de tiempo basado en satélites. Aunque el sistema europeo GALILEO está en fase de desarrollo, el GPS de los Estados Unidos, desarrollado a partir de los años 80, es el único plenamente operativo (desde 1994). La constelación básica de satélites NAVSTAR está constituida por un mínimo de 24 unidades orbitando la Tierra a unos 20.200 km de altura. Están



continuamente supervisados por el Segmento de Control, operado también por el Departamento de Defensa de los EE.UU, y es empleado por usuarios civiles para una gran cantidad de aplicaciones científicas y técnicas. El operador sólo debe contar con uno o más receptores GPS, de muy diversa índole, y tener a la vista 4 o más satélites de la constelación. No es imprescindible la intervisibilidad entre diferentes posiciones de los receptores GPS, aunque sí es necesaria una buena recepción de la señal que llega de los satélites. El sistema no funciona bien cerca de edificios altos o bajo arbolado, (José Gili, 2009). A esto se une la versatilidad que ofrece este sistema permitiendo trabajar de un modo rápido y sencillo proporcionando precisiones que están por debajo del centímetro, puesto que en este se triangula a partir de los satélites, (M Ramos Galán, et. al, 2003).

El principio del sistema GPS es calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas (x, y, z), partiendo del cálculo de las distancias del punto a un mínimo de cuatro satélites cuya localización es conocida. La distancia entre el usuario (receptor GPS) y un satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida desde el satélite por su velocidad de propagación. Para medir el tiempo de vuelo de la señal de radio es necesario que los relojes de los satélites y de los receptores estén sincronizados, pues deben generar simultáneamente el mismo código. Mientras los relojes de los satélites son muy precisos los relojes de los receptores son osciladores de cuarzo y por tanto imprecisos. Las distancias con errores debidos al sincronismo se denominan pseudodistancias. La desviación en los relojes de los receptores añade una incógnita más que hace necesario un mínimo de cuatro satélites para estimar correctamente las posiciones, (Pozo, Ruz, 2000).

Estudios realizados han demostrado que una vez introducidas las mejoras en la Red Local de Monitorización de Movimientos al trabajar con Doble Frecuencia y Doble Constelación, son capaces de registrar y procesar las portadoras de los satélites GPS americanos y de los GLONASS rusos. Se han procesado las líneas base de dos maneras diferentes: con todos los observables o bien sólo con los de GPS. Como era de esperar, el procesado con la doble constelación introduce una muy ligera mejora operativa de precisión al disponer de mayor número de satélites. La desviación típica de una serie de 34 cierres de triángulos observados pasa de 4 mm (GPS) a 3 mm (GPS+GLONASS) en



planimetría, y de 6 mm (GPS) a 4 mm (GPS+GLONASS) para la componente altimétrica, (José Gili, 2009).

Los deslizamientos son usualmente monitoreados por varios métodos, la combinación de estos muestran resultados más confiables del proceso geodinámico. Las técnicas de monitoreo pueden ser directos o indirectos, en el primer caso el análisis geodésico de movimientos de puntos se realiza para comparar el desplazamiento y su velocidad en mm/año. El sistema GPS diferencial (DGPS) es utilizado frecuentemente para monitorear áreas extensas de movimientos superficiales de deslizamientos. Este sistema utiliza una estación base en un sitio de coordenadas conocidas, que servirá para hacer las correcciones y refinamientos de una o varias estaciones móviles. Todas las estaciones utilizan el mismo sistema satelital. Todas las mediciones se relacionan a la estación base. Sin embargo, la precisión de DGPS puede deteriorarse considerablemente donde la superficie del terreno está cubierta de árboles o en épocas de malas condiciones de clima, (Cacya., 2004).

La evolución conjunta de las tecnologías de auscultación y las telecomunicaciones está permitiendo el desarrollo de Sistemas de Auscultación Automática de estructuras. Se puede afirmar que el GPS diferencial es preciso y útil en la auscultación de grandes estructuras, como las presas, al reflejar adecuadamente el movimiento de las mismas, en comparación con los sensores geotécnicos. El empleo de DGPS en grandes estructuras puede proporcionar información sobre sus movimientos y deformaciones. Esta información puede estar disponible en tiempo real, con sistemas automáticos de medición y alarmas programadas para distintos umbrales de movimientos. Por todo ello, se considera que el DGPS es una tecnología complementaria para la auscultación de grandes estructuras, que puede integrarse con otros métodos geotécnicos o topográficos, tanto en la fase constructiva como en el seguimiento de las obras, (Marchamalo, M. et al, 2011).

Al ser éste un tema de trascendental importancia es necesario realizar varios estudios que contribuyan a la prevención de riesgos y desastres naturales que estos podrían causar. Por ello, uno de los objetivos principales del estudio es *“Monitorear la zona de*



estabilización como las zonas de mayor vulnerabilidad a deslizamientos utilizando técnicas DGPS en el área del cerro Tamuga”.

1.4. Descripción del problema y/o necesidad.

1.4.1. Problemas a resolver.

Para el control y monitoreo de los movimientos de terreno es indispensable su estudio tanto geotécnico, geodésico entre otras ciencias con el objetivo de determinar los comportamientos de los fenómenos que puedan ocurrir, a fin de prevenir desastres devastadores los cuales podrán ser naturales u ocasionados, por ejemplo por actividades mineras no controladas.

En el área de influencia directa del proyecto de estabilización del Cerro Tamuga se cumplió con la primera fase y se pretende continuar con la segunda fase, siendo necesario monitorear la zona estabilizada con el fin de determinar zonas que podrían estar en constante movimiento, de tal manera poder tomar las medidas preventivas necesarias.

1.4.2. Necesidades a satisfacer

Con las nuevas tecnologías de aplicación en la topografía, cartografía, geodesia, entre otras, acompañados del GPS y los Sistemas de Información Geográfico (SIG) han permitido establecer metodologías apropiadas de análisis y diagnóstico (Hernandez, Morcillo. et al., 2006) de los estudios geológicos y geotectónicos, permitiendo en base a los resultados técnicos tomar decisiones que de acuerdo al riesgo se podrán priorizar acciones inmediatas en corto, mediano o largo plazo.

Con el estudio de monitoreo del área afectada por el deslizamiento de La Josefina se tendrá una metodología apropiada para la medición y monitoreo de posibles movimientos que puedan ocurrir, es así, que con la técnica DGPS se pretende apoyar a la toma de datos con mayor rapidez y precisión frente a las metodologías convencionales (Topografía mediante distanciómetro).



1.5. Justificación del proyecto de tesis

En el área de influencia directa del proyecto de estabilización del Cerro Tamuga periódicamente se ha estado monitoreando los movimientos de terreno mediante técnicas convencionales (Topografía), por lo que actualmente con el avance de la tecnología se recomienda la implementación de la técnica DGPS a fin de tomar los datos con mayor precisión y rapidez, en tal sentido y en base a los procesos académicos e investigativos que la Maestría pretende alcanzar. Se plantea la implementación de un sistema de medición y toma de datos, los cuales permitirá tomar decisiones oportunas e involucrar a las instituciones que de acuerdo a sus competencias puedan emprender acciones necesarias para mitigar los efectos que estos podrían causar.

Al tratarse de un tema de trascendental importancia es necesario realizar varios estudios que contribuyan a la prevención de riesgos y desastres naturales que estos podrían causar. Con esto se pretende monitorear la zona de estabilización como las zonas de mayor vulnerabilidad a deslizamientos utilizando técnicas DGPS.

1.6. Objetivo General y Específicos

1.6.1. Objetivo General

Implementar un sistema de medición en las zonas de vulnerabilidad a deslizamientos mediante la técnica DGPS en el área de influencia directa del proyecto de estabilización del Cerro Tamuga

1.6.2. Objetivos Específicos

- Investigar el estado del arte en las técnicas geodésicas, enfocadas en DGPS para el monitoreo de deslizamientos.
- Ubicar y georreferenciar puntos de referencia en la zona cercana a la zona de estudio.
- Monitorear los puntos de control existentes y construcción de nuevos de acuerdo a las recomendaciones geotectónicas.
- Analizar y procesar los datos obtenidos con técnicas DGPS y Topográficas.



- Diseñar un sistema de monitoreo más eficiente para la zona de estudio.

1.7. Alcance del Proyecto.

En base a los requerimientos institucionales, el presente estudio pretende implementar un sistema de monitoreo de movimientos de terreno en base a la utilización de la tecnología y herramientas topográficas necesarias, siendo indispensable contar con el apoyo del Sistema de Posicionamiento Global (DGPS).

1.8. Metodología

La propuesta metodológica a utilizar es un procedimiento denominado DGPS (Differential GPS), que incluye el uso simultáneo de dos o más receptores. En este régimen, un receptor ocupa un punto denominado estación base del cual se conocen las coordenadas precisas y el otro receptor o receptores denominados también “rovers” ocupan las estaciones de interés y cuyas coordenadas se desconocen. El principio para establecer movimientos de ladera utilizando el procedimiento DGPS se basa en obtener una variación matemática de las coordenadas de un punto (estación) dentro de un rango de tiempo. La posición relativa se la obtiene mediante la diferencia entre la última y la primera medición; este rango es variable y va desde días, meses a años, (Belizario Zarate, 2011). Así mismo, se realiza el cálculo del desplazamiento en el plano vertical obteniendo las diferencias entre el último y primera medición y los resultados de este proceso se comparará con los resultados de las mediciones topográficas convencionales realizadas, donde se considera adicionalmente los recursos empleados, como personal, tiempo, rapidez y precisión. Con los resultados de las diferencias entre coordenadas ΔX , ΔY , ΔZ , se realizará el análisis de la direccionalidad de los vectores de desplazamiento mediante la diferencia entre el promedio de todas las mediciones (a excepción de la primera medición) con el primer punto medido.

Para evaluar los movimientos de la ladera se determinó principalmente los cambios de distancias, altura, ángulos o las coordenadas relativas de los puntos de control que se encuentran distribuidos en la zona de estudio.



En la Tabla 1, adaptada de (Gili, 2000), se detallan algunas características de los métodos desarrollados para el control de movimientos de laderas “en superficie y precisión”.

Tabla 1. Métodos de medida para el control de movimientos

Método	Resultado	Rango típico	Precisión típica
Cintas metálicas	Δ distancia	< 30 m	0,5 mm/30m
Extensómetros cable	Δ distancia	<10-80 m	0,3 mm/30 m
Reglas apertura grietas	Δ distancia	< 5 m	0,5 mm
Desviación de 1 visual	$\Delta H, \Delta V$	< 100 m	0,5-3 mm
Triangulación	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	<300-1000 m	5-20 mm
Poligonación	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Variable	5-20 mm
Nivelación geométrica	ΔZ	Variable	2-5 mm/ Km
Nivel. Geom.Precisión	ΔZ	Variable	0,2-1 mm/Km
Med.Electrón. Distancias	Δ distancia	Variable(usual 1 a 14 Km)	(1 a 5 mm) + (1 a 5 ppm)
Fotogrametría Terrestre	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Idealmente < 100 m	20 mm desde 100 m
Fotogrametría Aérea	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	H vuelo < 500 m	10 cm
Clinómetros	α	+ 10°	0,01° - 0,1 °
GPS	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Variable (usual < 20 Km)	(5 a 10 mm)+(1 a 2 ppm)

Fuente: Métodos desarrollados para el control de Movimientos de Ladera. (Gili, 2000)

La metodología empleada obedece a ciertas acciones necesarias previo a realizar el estudio tomando en consideración la Planificación, Georreferenciación del punto de referencia (Estación Base), Establecimiento de la línea base, Levantamiento de los puntos de control geodésico, Análisis (descarga de datos) y procesamiento de datos con técnicas DGPS y topográficas las cuales se detallan a continuación.



1.8.1. Planificación, Ubicación de la estación base y establecimiento de la línea base.

Previo al inicio de las actividades se planificó el método a seguir que consiste en la identificación y recopilación de información de los vértices de la Red Geodésica del IGM cercanos al proyecto priorizando el nivel de precisión, accesibilidad y ubicación respecto al lugar donde se realizará las campañas de monitoreo.

Se estableció el punto base o de partida (Anexo 1. Monografía IGM de Tercer Orden ubicado en el Cantón Azogues) del cual mediante técnicas de Posicionamiento con DGPS se trasladó la coordenada (X, Y, Z) hacia un sitio más cercano a la zona de estudio, se ubicó la estación base que es el punto de partida para las campañas programadas durante la etapa de estudio y posterior monitoreo.

Las coordenadas geográficas, coordenadas UTM y altura elipsoidal del punto IGM como de la Estación Base se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas del punto IGM y Estación Base

Punto	Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM		Altura Elipsoidal
	Latitud	Longitud	ESTE	NORTE	
AZOGUES (IGM)	S 2° 44'26,7991"	W 78° 50'56,859"	E 739122,598	N 9696844,719	2539,249 m
ESTACIÓN BASE	S2°50'21,76577"	W78°50'33,97848"	E 739809,527	N 9685936,976	2825,427 m

Como se puede observar en la Ilustración 2, la ubicación del punto IGM se encuentra en la parte alta del Hotel Rivera del cantón Azogues, así mismo la Estación Base se encuentra en el sector de Tuzhpo a 40 m aproximadamente de la iglesia del sector, que pertenece a la parroquia San Cristóbal, cantón Paute

Ilustración 2. Ubicación de punto IGM y Estación Base



Punto IGM “AZOGUES”



Estación Base “BASE”

Una vez establecida la estación base se realizó el reconocimiento de campo ubicando los sitios de muestreo (Mojones o Hitos) los cuales se encontraban previamente construidos de acuerdo a un análisis geológico y geotectónico en la parte alta del Cerro Tamuga siendo un total de 14 hitos cuya ubicación geográfica se detallan en la Tabla 3, los cuales fueron construidos por la Corporación Suiza mediante el Proyecto de Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute (PRECUPA) en el año 1995, donde se implementa una Red Geodésica con la intención de monitorear zonas propensas a deslizamientos. Los datos que a continuación se detalla corresponden a la primera medición realizada con DGPS.

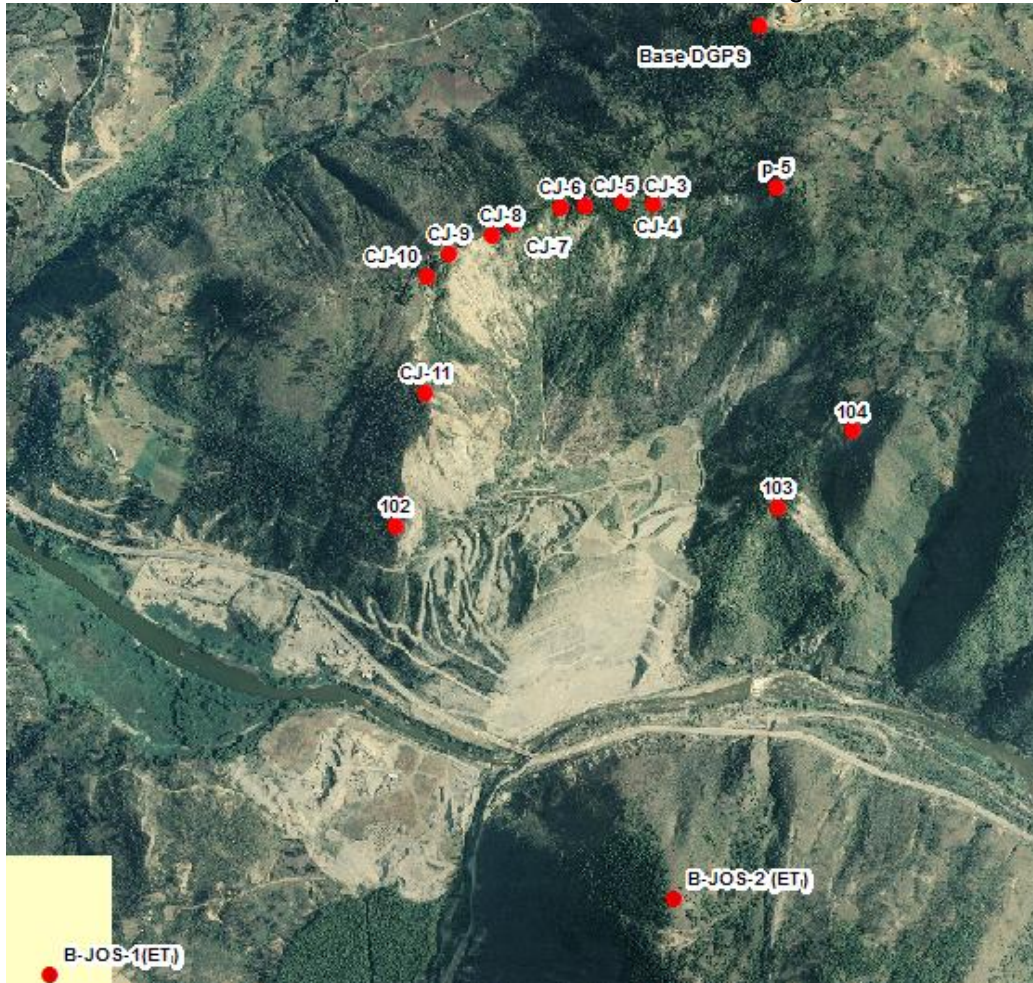


Tabla 3. Hitos considerados para el monitoreo

ID	Este	Norte	Elevación
Base Tushpo	739809.527	9685936.976	2825.427
CJ-2	739839.494	9685621.309	2811.203
CJ-3	739599.227	9685586.576	2748.732
CJ-4	739538.578	9685590.334	2753.837
CJ-5	739464.285	9685585.125	2749.574
CJ-6	739417.766	9685580.411	2744.612
CJ-7	739321.874	9685546.463	2738.464
CJ-8	739282.174	9685526.932	2735.939
CJ-9	739198.276	9685489.463	2739.987
CJ-10	739155.312	9685446.627	2715.191
CJ-11	739152.643	9685216.468	2608.053
N1	739104.529	9684996.712	2458.376
N2	739092.583	9684952.602	2435.394
N3	739843.583	9684989.859	2546.633
N4	739989.398	9685141.559	2593.895

En la ilustración 3 se observa la distribución espacial de los hitos monitoreados en el Cerro Tamuga, también la ubicación de las estaciones base para DGPS (Base DGPS) y Estación Total (B-JOS-1 y B-JOS-2).

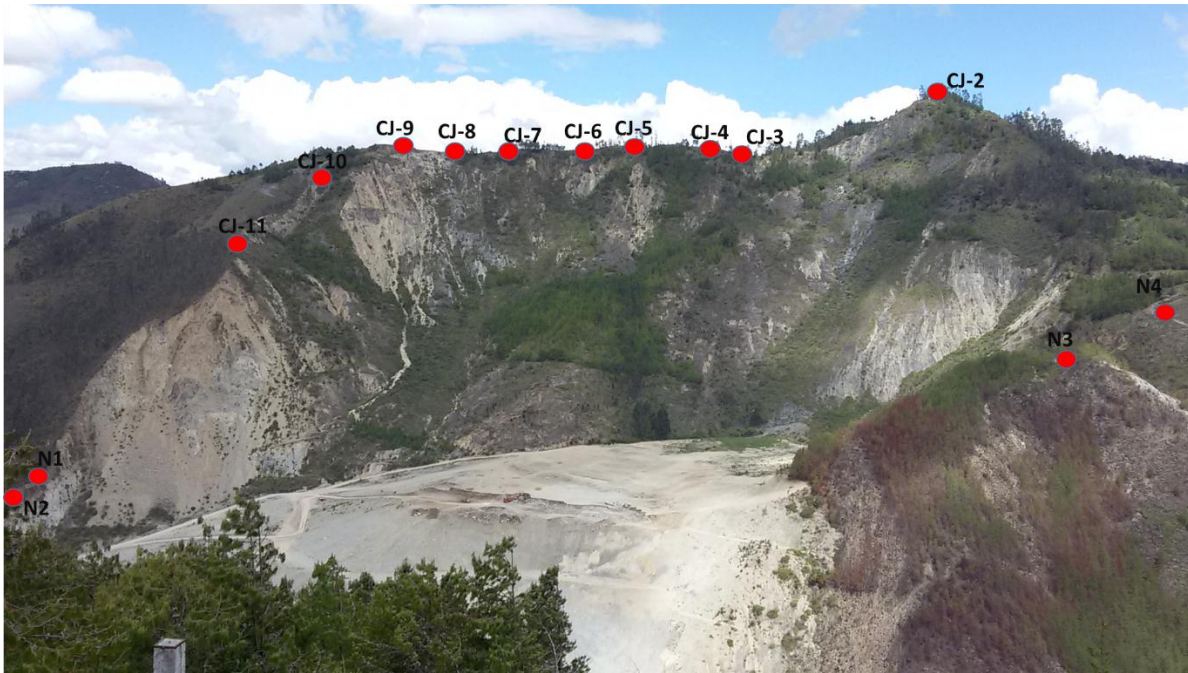
Ilustración 3. Ubicación de los puntos de control en el cerro Tamuga



Fuente: MAGAP - SIG TIERRAS.2012 (Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica).

En la ilustración 4 se observa una vista panorámica de distribución y ubicación de los hitos monitoreados en el Cerro Tamuga.

Ilustración 4. Vista Panorámica del Cerro Tamuga

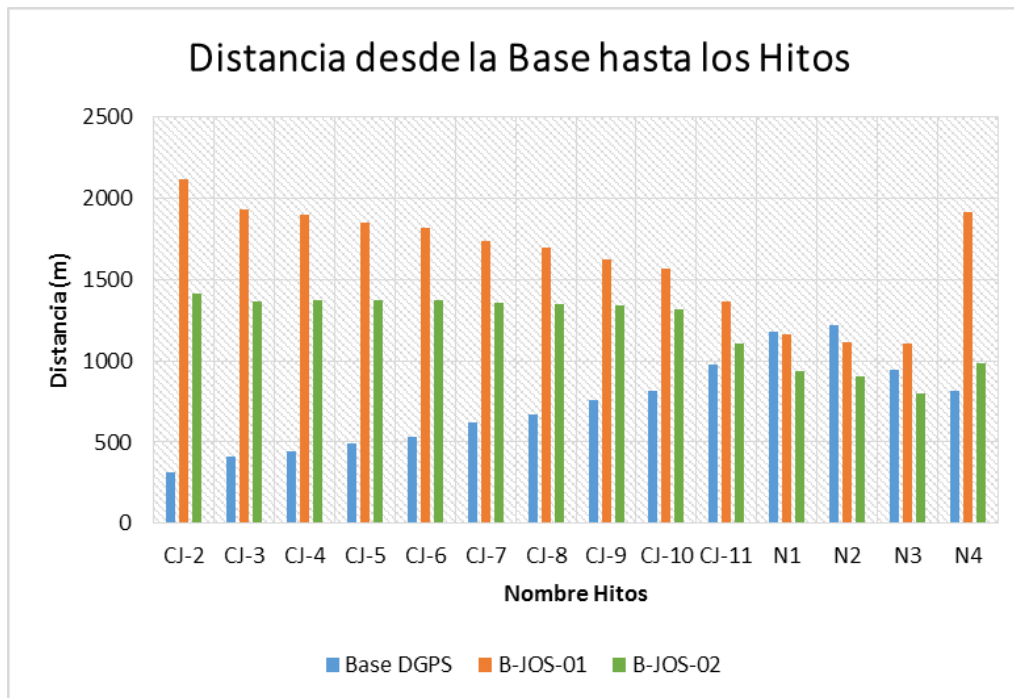


La distancia que existe entre el punto Base DGPS, Base B-JOS-1 y Base B-JOS-2 a los puntos de observación o Hitos se detallan en la Tabla 4, las mismas que para la Base DGPS las distancias están entre los 317.08 m a 1217.80 m respectivamente, las distancias para la Base B-JOS-01 están entre 1107.61 m a 2112.12 m y para la Base B-JOS-02 están entre 796.08 m a 1374.42 m, en el Gráfico 1 se puede observar una mejor representación o comparación de las distancias desde las bases a los hitos.

Tabla 4. Distancia desde la Estación Base hacia los Hitos de monitoreo.

Nombre Hito	Distancia (m)		
	Base DGPS	B-JOS-01	B-JOS-02
CJ-2	317,084	2112,127	1414,155
CJ-3	408,685	1929,255	1364,318
CJ-4	439,984	1895,245	1370,832
CJ-5	492,954	1847,423	1372,667
CJ-6	529,728	1817,187	1374,426
CJ-7	624,755	1736,498	1359,434
CJ-8	668,018	1699,081	1350,137
CJ-9	757,559	1624,444	1338,696
CJ-10	817,580	1566,151	1313,175
CJ-11	975,013	1367,246	1102,936
N1	1175,230	1159,837	936,091
N2	1217,800	1117,623	906,998
N3	947,748	1107,612	796,086
N4	815,503	1912,729	986,331

Gráfico 1. Distancia desde el Punto Base hasta los Hitos



1.8.2. Levantamiento de los puntos de control geodésico

Para el levantamiento u observación de los puntos se utilizó un equipo GPS TRIMBLE R4 con la técnica de medida Estático Rápido, que consiste en ubicar un receptor como Base sobre el punto de coordenadas conocidas y el otro receptor llamado móvil (ROVER) se desplaza por los puntos de observación con un tiempo máximo de medida de 10 minutos en cada punto, se estableció este tiempo luego de realizar varias pruebas monitoreando los hitos durante varios tiempos: 15, 20 y 30 minutos, luego de estas pruebas se determinó que no existe variaciones significativas en la precisión de los datos obtenidos, por tanto a fin de optimizar recursos se realizan las mediciones durante 10 minutos.

En la ilustración 5 se observa la ubicación del receptor móvil sobre el hito para su medición durante el periodo de 10 minutos.

Ilustración 5. Punto de control (Hito CJ-2) medido con el receptor móvil (Rover).



Para el levantamiento de información con técnicas topográficas se utilizó una Estación Total Marca TOPCON GPT-3003W con 3" de precisión de ángulo Vertical y Horizontal, Prismas con bases nivelantes y trípodes, Medidor de Temperatura, Medidor de presión, Radios portátiles y equipo complementario, para el procesamiento de los datos topográfico se aplica el método de Trilateración.



El método utilizado según informe Geodésico realizado por SENAGUA consistió en tomar valores de distancias inclinadas, ángulos horizontales repetidos y ángulos verticales directos e inversos, que al ser calculados deberán estar dentro de un margen de variación entre 0 mm y 8 mm (por cada mil metros de distancia), es decir los errores estarán en dependencia directa de la distancia a la que se encuentre el punto monitoreado.

1.8.3. Análisis (Descarga de Datos) y Monitoreo de los puntos de control

Para el procesamiento de los datos GPS se utilizó el Software Trimble Business Center 2 con el cual se procesó los puntos de monitoreo, teniendo en cuenta la configuración del sistema que son los parámetros para el post procesamiento: Sistema de Coordenadas UTM, Zona 17 South, Modelo geoidal EGM96, Datum WGS 1984, y la configuración del Proyecto considerando los criterios de aceptación para el post procesamiento de datos de doble frecuencia tomando como indicador aceptable: $0.005\text{m} + 0.5 \text{ ppm}$ y para no aceptar la precisión: $0.015 \text{ m} + 0.5 \text{ ppm}$.

1.8.4. Análisis y procesamientos de datos obtenidos con técnicas GPS y Topográficas

Para los datos de medida con DGPS se consideró realizar las observaciones cada 15 días y para los datos de Estación Total cada 30 días, que en el transcurso del tiempo estas consideraciones variaron en función de la disponibilidad de los equipos para el caso del GPS y para Estación Total en función del presupuesto, por la contratación del equipo técnico para realizar el monitoreo.

El resultado del post proceso para el cálculo de los desplazamientos ocurridos en los puntos de monitoreo se obtiene por la diferencia de coordenadas observadas o medidas en las diferentes campañas (Gili, 2000) tanto con los datos de la Estación Total como de DGPS.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema Global de Navegación por Satélite.

El Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System), es el acrónimo que se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma. Los orígenes del GNSS se sitúan en los años 70 con el desarrollo del sistema militar estadounidense GPS (Global Positioning System), destinado para actividades de las fuerzas Armadas (guiado de misiles, localización de objetivos y tropas). A través de una red de satélites, un receptor de GNSS es capaz de determinar su posición en cuatro dimensiones (longitud, latitud, altitud, y tiempo), lo que ha dado lugar a multitud de aplicaciones civiles y militares, (García, 2009., Peñafiel, 2009., Aguilar, 2001).

Actualmente, el concepto de Sistemas de Posicionamiento Global se refiere no solo al sistema GPS, sino también al conjunto de todos los sistemas de posicionamiento global como son GLONASS (GLOBAL NAVIGATION Satellite System), EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), WASS (Wide Area Surveillance Satellite), MSAS (MTSAT: Satellite based Augmentation System) y el futuro GALILEO (proyecto europeo para el desarrollo de un sistema de navegación global por satélite), denominándose todo este conjunto sistema GNSS (Global Navigation Satellite Systems).

Las aplicaciones de una red geodésica de estaciones permanentes GNSS es muy diversa en cuanto a las precisiones de los resultados perseguidos, variando desde precisiones milimétricas (estudios geodinámicos) a precisiones mayores que el metro (navegación).

2.2. Funcionamiento del Sistema GNSS.

El funcionamiento de los sistemas de navegación por satélite se basa en la medida de las distancias existentes entre el receptor cuya posición se quiere determinar y un conjunto de satélites cuya posición se conoce con gran precisión. Este proceso es muy conocido en el entorno topográfico pues se conoce como Trilateración inversa 3D. Para medir estas distancias existen tres métodos: medida del desplazamiento Doppler, medida basada en



retardos temporales o medida por pseudodistancias, y medidas basadas en diferencia de fase, (Fárez, 2010).

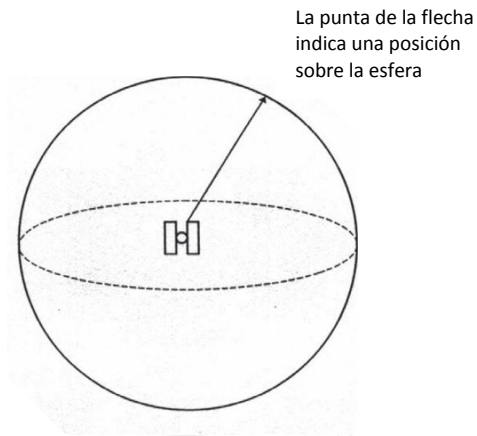
Los pasos principales para el funcionamiento del GPS son los siguientes:

- *Triangulación.* La base del GPS es la triangulación desde los satélites.
- *Distancias.* Para triangular, el receptor de GPS mide distancias utilizando el tiempo de viaje de señales de radio.
- *Tiempo.* Para medir el tiempo de viaje de estas señales, el GPS necesita un control muy estricto del tiempo y lo logra con ciertos parámetros.
- *Posición.* Además de la distancia, el GPS necesita conocer exactamente donde se encuentran los satélites en el espacio. Órbitas de mucha altura y cuidadoso monitoreo, le permiten hacerlo.
- *Corrección.* Finalmente, el GPS debe corregir cualquier demora en el tiempo de viaje de la señal que esta pueda sufrir mientras atraviesa la atmósfera.

2.2.1. Triangulación.

La coordenada exacta de un punto sobre la tierra se calcula midiendo la distancia desde un grupo de satélites hacia la posición de la antena (Figura 1). Asumiendo que la distancia hacia un satélite es conocida, la posición de la antena puede estar sobre cualquier punto sobre la superficie de la esfera generada, (Ghio, 2008).

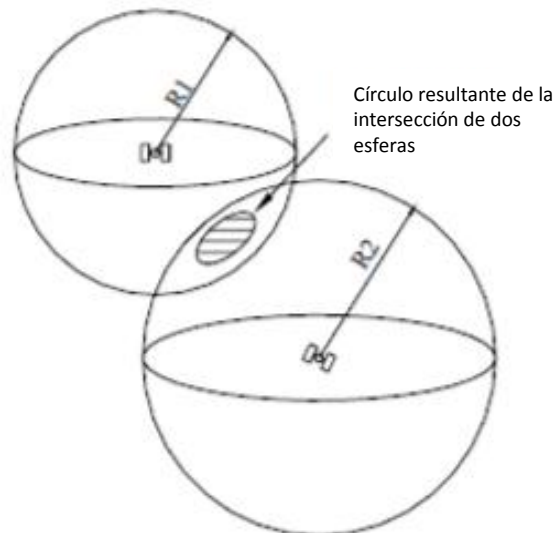
Figura 1: Trilateración desde satélites



Tomado de Ghio G, 2008. Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Conceptos, Funcionamiento, Evolución y Aplicaciones

Si se incorpora la distancia hacia un segundo satélite se generan dos esferas cuya intersección genera un círculo (Figura 2). La posición de la antena estará en algún punto sobre este círculo.

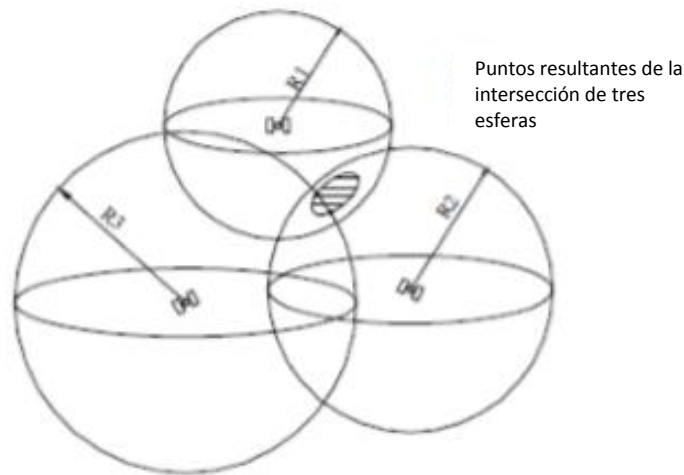
Figura 2. Ubicación del receptor en la Intersección de dos esferas



Tomado de Guandique Diego, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una Frecuencia Aplicando el Sistema Global de Navegación (GNSS) Utilizando un Modelo Geoidal y su Análisis Comparativo con Levantamiento Topográfico con Estación Total

Si se incorpora la distancia a un tercer satélite, la esfera generada se intercepta sobre dos puntos en el círculo (Figura 3). Uno de éstos es una posición degradada producida por una respuesta indeseada

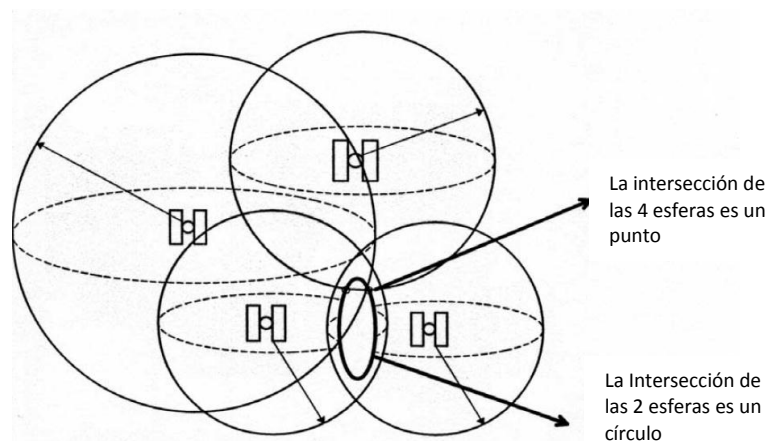
Figura 3. Ubicación del receptor mediante la intersección de tres esferas



Tomado de Guandique Diego, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una Frecuencia Aplicando el Sistema Global de Navegación (GNSS) Utilizando un Modelo Geoidal y su Análisis Comparativo con Levantamiento Topográfico con Estación Total.

Se necesitan 4 satélites como mínimo para determinar la solución de las cuatro incógnitas: coordenadas X, Y, Z y Tiempo (Figura 4).

Figura 4. Ubicación Tridimensional de las esferas



Tomado de Ghio G, 2008. Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Conceptos, Funcionamiento, Evolución y Aplicaciones



Los receptores al no poseer relojes tan precisos como de los satélites, resulta imposible que exista una sincronización perfecta por tanto una pequeña diferencia genera errores en la localización del receptor, debido a la velocidad a la que viaja la señal.

Por tal motivo es indispensable la medición de una distancia adicional, ya que la trigonometría permite hacer la afirmación de que si tres mediciones perfectas ubican un punto en el espacio cuatro mediciones imperfectas pueden eliminar cualquier desajuste de tiempo, es decir la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS, y los relojes de los satélites, (Diego Guandique, et al, 2014., Alejandro Riveros, et al).

2.2.2. Distancias.

Para el cálculo de las distancias satélite-usuario existen diferentes posibilidades de obtener datos a continuación se describe los siguientes tipos de medidas de distancias.

a. Desplazamiento Doppler.

El sistema Doppler ofrece un posicionamiento rápido, aunque de menor precisión que el proporcionado con el sistema GPS. En la práctica su única aplicación posible es su utilización para realizar una primera aproximación en un posicionamiento por pseudo distancias, y así obtener unas coordenadas aproximadas para comenzar el cálculo y que este converja más rápidamente, (Peñafiel, 2009).

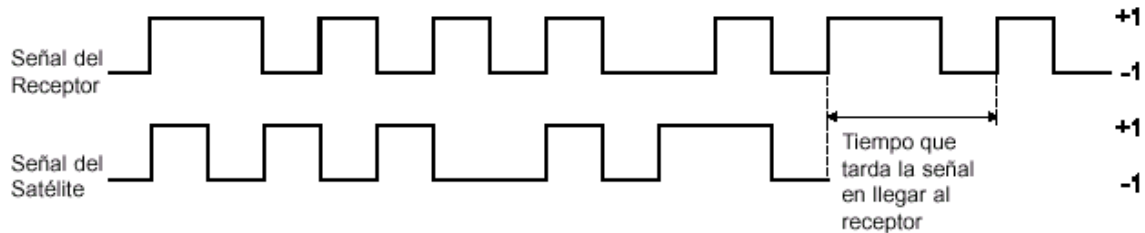
b. Pseudodistancias

La pseudodistancia se obtiene calculando el tiempo que tarda una señal electromagnética emitida por el satélite en llegar hasta el dispositivo receptor, multiplicándolo por la velocidad de la luz. Para calcular el tiempo que tarda la señal del satélite hasta el receptor, el satélite emite un código mientras que el receptor genera una réplica exacta, dado que tiene en su memoria la estructura del código C/A o el código P (Código C/A es un código digital que está basado en el tiempo marcado por un reloj atómico de alta



precisión). Entonces compara el código transmitido por ambos, y comprueba si están sincronizados (Peñañiel, 2009).

Figura 5. Determinación del tiempo de propagación de la señal



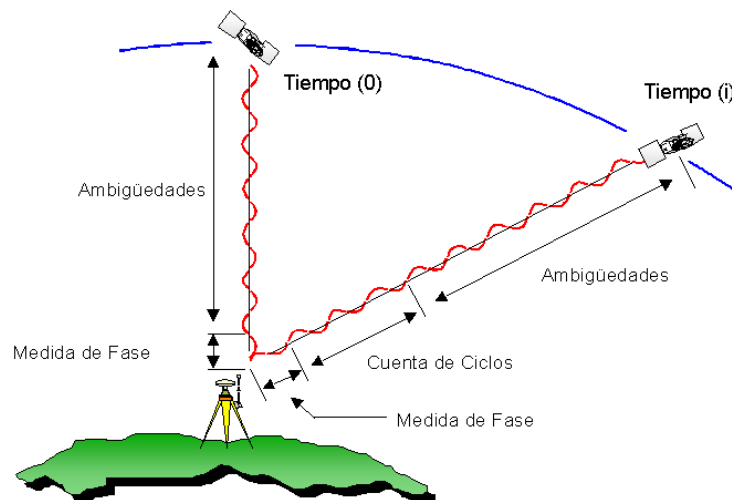
Tomado de Peñañiel J. 2009. Fundamentos del Sistema GNSS Aplicado a la Topografía.

El módulo receptor empieza a retardar la emisión de la señal del GPS hasta lograr la perfecta sincronización con la señal que viene del satélite, y el tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales es igual al tiempo de viaje de la señal proveniente del satélite (Figura 5). Esta pseudodistancia no será la existente realmente, ya que, no se conoce el estado del reloj del receptor (el estado del reloj del satélite es conocido por el mensaje de navegación). Es por eso que el valor encontrado no es una distancia sino una pseudodistancia.

c. Diferencia de fase

La información va codificada en la onda portadora. Esta comparación de fase se realiza sobre la portadora limpia de modulación, que se ha conseguido tras la correlación, o bien por el método alternativo de cuadratura. Conocida la longitud de onda, lo que se obtiene es la variación de la distancia (D) satélite-antena receptora controlando continuamente la evolución del desfase entre la emisión radioeléctrica recibida desde el satélite, con frecuencia conocida y desde posición conocida, y la réplica del receptor, así como con el control del número entero (N) de ciclos recibidos (Figura 6). El número entero (N) de longitudes de onda existente entre el satélite y el receptor, no se conoce en el instante inicial en que el receptor comienza a seguir la fase recibida del satélite. Esta incógnita se conoce como Ambigüedad de Ciclo Inicial, (Peñañiel, 2009).

Figura 6. Medición de distancias con medidas de fase



Tomado de Penafiel J. 2009. Fundamentos del Sistema GNSS Aplicado a la Topografía

Esta última medida, llamada ambigüedad, da la distancia entre satélite y receptor, más una parte de longitud de onda (λ) que es la que controla como desfase ($\Delta\phi$). La ambigüedad inicial permanece constante mientras no se pierda la referencia del número entero de ciclos, por interrupción de la recepción, ya sea por interferencias, obstáculos, etc., siendo necesario volver a regenerarla mediante cálculos de ajustes polinómicos en postproceso y así poder mantener la ambigüedad inicial de la medida. En caso contrario, la medida no será válida, (Peñafiel, 2009).

$$D = \lambda (N + \Delta\phi)$$

Dónde:

D = Diferencia de fase

λ = Longitud de la onda portadora

N = Número entero de ciclos

$\Delta\phi$ = Desfase

2.2.3. Tiempo.

Es necesario que los relojes del satélite y del receptor estén sincronizados. Los relojes de los satélites llevan osciladores de cesio o rubidio que permitan una precisión en la



medición del tiempo de 10^{-13} o 10^{-12} segundos respectivamente, estos relojes son muy caros para instalarlos en un receptor, por eso es necesario recurrir a realizar una medición extra de la distancia del satélite receptor, de este modo se puede compensar un imperfecto sincronismo por parte del receptor.

Por ejemplo, si se mide la distancia a dos satélites con el reloj del receptor imperfecto con retraso, las distancias medidas serían $D1'$ y $D2'$ respectivamente, y el punto buscado sería menores, $D1$ y $D2$ respectivamente, y el punto buscado sería A. Pero en esta situación no se podría saber si se comete un error. Pero en cambio se añade una medición a un tercer satélite, para que haya redundancia, en la medición con retraso, las distancias serían $D1'$, $D2'$ y $D3'$, forzosamente la solución tiene que converger al punto A, sin posibilidad de incertidumbre, como si se hubiesen medido correctamente como $D1$, $D2$ y $D3$.

El ejemplo para dos dimensiones implica mediciones a tres satélites, como se trabaja en el espacio, tres dimensiones implican la medición a un cuarto satélite para corregir los desfases entre el reloj del receptor y los de los satélites, (Agugliaro, 2000).

2.2.4. Posición.

Los satélites orbitan a unos 20.000 km de altura sobre de la tierra, a esta altura se puede considerar que están libres de atmósfera. Esto significa que la órbita de los satélites no sufre modificaciones de importancia y sigue un algoritmo matemático fácilmente predecible por las leyes de Kepler ya que la órbita del satélite es plana.

Cada satélite tiene una órbita muy precisa de acuerdo con el plan maestro GPS, estas son conocidas con antelación, y de hecho los receptores tienen programado el almanaque que les indica para cada instante donde se encontrará cada satélite en el espacio. A los parámetros orbitales se les denomina efemérides, (Agugliaro, 2000)

2.2.5. Corrección.

Se ha supuesto hasta ahora que la velocidad de viaje de la señal GPS era conocida, la velocidad de la luz, pero esto sólo es cierto si se viajase en el vacío. Como la señal



atraviesa la atmósfera, tendrá retrasos por dos componentes: el producido por la ionósfera y el producido por la Tropósfera.

Existen dos formas de atenuar estos errores, el primero mediante modelos de predicción de la variación de la velocidad a estos medios, con el inconveniente de que son fusión de condiciones atmosféricas medias, y no todos los días tienen esas condiciones; y el segundo midiendo la variación de velocidad en dos frecuencias diferentes, esto se basa en que la desaceleración de una onda es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia, (Agugliaro, 2000)

2.3. Composición del Sistema GNSS

La infraestructura necesaria para el sistema de navegación por satélite consta de tres segmentos: Segmento Espacial, Segmento Control, Segmento Usuario.

2.3.1. Segmento Espacial.

El segmento espacial está compuesto por los diferentes satélites que forman el sistema GNSS, tanto de navegación como de comunicación, así como las distintas señales que envían y reciben cada uno de los receptores. El sistema GPS está compuesto por una constelación de 24 satélites artificiales NAVSTAR (Navigation Satellite Timing And Ranging) (Figura 7), está formada por seis planos orbitales que tienen una inclinación de 55° respecto al plano del Ecuador.

La altitud de los satélites es de 20,000 km y completan dos órbitas exactas cada 360° de giro de la Tierra, es decir tienen un periodo de rotación de 12 horas de tiempo sidéreo. De esta forma cada satélite se encuentra sobre el horizonte unas cinco horas, configuración que asegura en cualquier posición sobre la Tierra y en cualquier momento, existen entre seis y once satélites con geometría favorable, de los cuales se pueden recibir señales, (Peñañiel, 2009)

Figura 7. Constelación Satélites NAVSTAR GPS



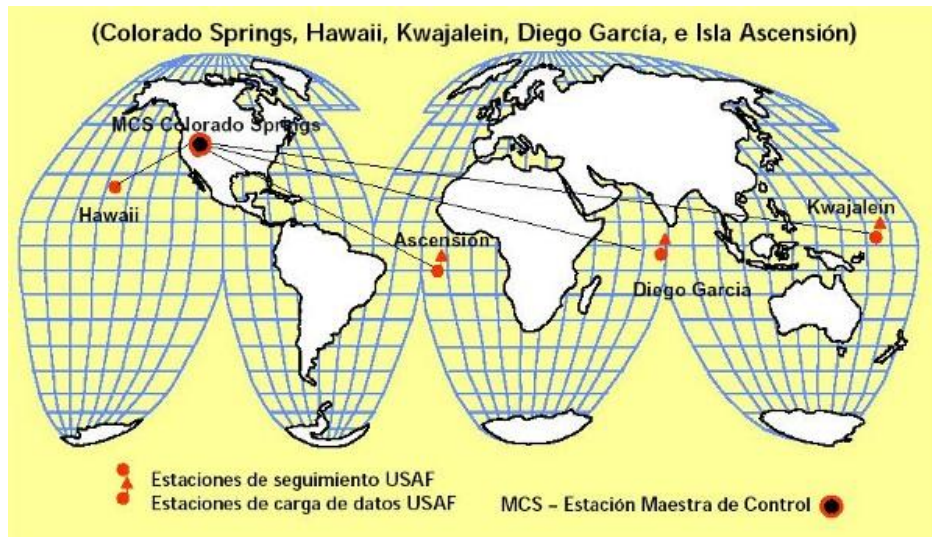
Tomado de Penafiel J. 2009. Fundamentos del Sistema GNSS Aplicado a la Topografía.

2.3.2. Segmento Control

El segmento Control está formado por un conjunto de estaciones en tierra espaciadas de manera uniforme a lo largo del Ecuador y son: la estación central o maestra (MCS) situada en la base Falcon Air Force, cerca de Colorado Spring (EEUU), y las secundarias se ubican en Ascensión (Atlántico Sur), Diego García (Océano Indico), Kwajalein (Océano Pacífico

Occidental) y Hawai (Océano Pacífico Oriental), que recibe los datos de los satélites y tiene como misión el seguimiento continuo de los satélites que forman la constelación así como de garantizar el servicio del sistema de Navegación (Figura 8), mediante el monitoreo del segmento espacial y la aplicación de correcciones de gran precisión de la posición orbital y temporal, enviando desde la estación central datos de sincronización de relojes atómicos y correcciones de posicionamiento de órbitas a los diferentes satélites donde son procesados y se calculan las efemérides, los estados de los relojes y toda la información que ha de ser transmitida y almacenada en la memoria de cada satélite para su radiodifusión, (González, 2007).

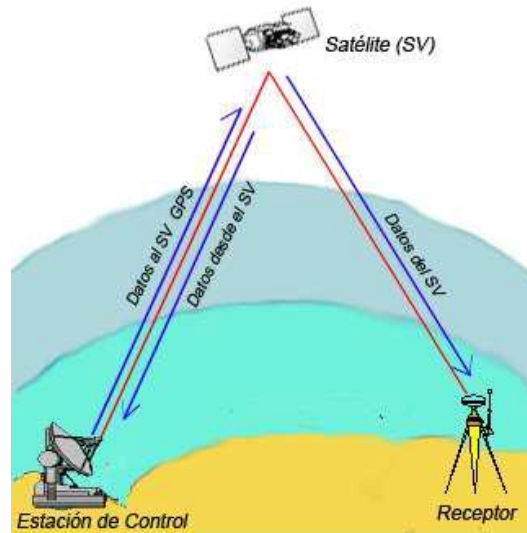
Figura 8. Localización de las estaciones del segmento control.



Tomado de Gonzalez, 20007. Implantación de una red básica mediante GPS.

Existen también unas antenas de tierra (Ground Antennas) que rastrean y monitorizan los satélites por todo el horizonte y también transmiten información de corrección a satélites individuales; llevan a cabo las operaciones de telemetría en banda (Figura 9). Por tanto, las estaciones reciben continuamente las señales de los satélites que estén sobre el horizonte, estableciendo con gran precisión las orbitas de estos, por lo que desde tierra se puede determinar la posición exacta de cualquier satélite GPS en un momento dado, (Peñafiel, 2009).

Figura 9. Otras antenas de rastreo y monitorización de satélites.



Tomado de Penafiel J. 2009. Fundamentos del Sistema GNSS Aplicado a la Topografía.

2.3.3. Segmento Usuario

El segmento usuario está formado por todos los receptores GPS que reciben señales radiodifundidas de los satélites (segmento espacial) y las procesa para calcular la posición tridimensional, y la hora precisa, (González, 2007).

Las funciones principales de los receptores son las siguientes, (Fárez, 2010):

- Sintonizar las señales emitidas por los satélites
- Decodificar el mensaje de navegación
- Medir el retardo de la señal (desde el transmisor hasta el receptor) a partir de los cuales calculan la posición.
- Presentar la información de la posición en la que se encuentra (en 3D o en 2D)



Otras funciones complementarias son:

- Ayuda a la navegación
- Almacenamiento de datos
- Presentación más sofisticada (mapa de fondo)
- Las prestaciones de los receptores civiles (C/A) son:
- Posición 2D y 3D en menos de 2 y 2.5 minutos respectivamente.
- Actualizaciones de la posición de 0.5 a 1 segundo.
- Precisión en torno a 15m.
- Medida de la velocidad del usuario, precisión de 0.1m/s aproximadamente.
- Referencia temporal, precisión de 100 ns aproximadamente.

Estos dispositivos están formados por un conjunto de elementos básicos, (Fárez, 2010) que son:

- *Antena*. Con Amplificador de Bajo Ruido (LNA), para no degradar la sensibilidad.
- *Receptor*. Traslada la señal a frecuencia intermedia, de modula y decodifica el mensaje de navegación.
- *Microprocesador*. Calcula la posición y controla todos los procesos que debe realizar el receptor.
- *Unidad de Control*. Permite la comunicación entre el usuario y el microprocesador.
- *Almacenamiento de datos*.

2.4. Aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Son diversas las aplicaciones de los Sistemas de Posicionamiento Global asistidos por satélites (GNSS). Son utilizados para la navegación, la determinación de la posición y la temporización, y que interactúan con diferentes tipos de ciencias, (Pozo, Ruz, 2000; Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007; Fárez, 2010) como:



Geodesia y Topografía.

- Determinación de las redes fundamentales para la Cartografía, Topografía, Ingeniería y control de un país, región o localidad.
- Obtención de la ondulación del geoide de forma regional o global.
- Densificación de redes geodésicas.
- Levantamientos taquimétricos.

Geofísica.

- Estudio de deformaciones de la superficie terrestre.
- Determinación de la estructura de las distintas capas de la atmósfera y comportamiento de las mismas.

Ingeniería.

- Redes fundamentales para cartografías donde se apoyen los proyectos de infraestructuras de todo tipo.
- Establecimiento de redes básicas para el replanteo de una obra de ingeniería.
- Replanteo de puntos de un proyecto de ingeniería
- Control de calidad en obra.
- Control de deformaciones de estructuras.

Hidrografía.

- Levantamientos batimétricos.
- Estudios y análisis de la evolución de las cuencas hidrográficas.
- Determinación de itinerarios fluviales y marítimos.



Sistemas de Información Geografía.

- Obtención de los datos geográficos para la elaboración la cartografía de un Sistema de Información Geográfica y la actualización de bases de datos geo-referenciadas.

Navegación.

- Actualización de cartas de navegación.
- Determinación de itinerarios de acuerdo a la actividad que se realice.
- Deducción de la evolución e itinerario de un vehículo en movimiento.
- Inventarios de redes viales, fluviales, aéreas, navales y espaciales.

2.5. Fuentes de Error del GPS

En la realización de cualquier tipo de observación en la que se utilice la tecnología GPS, el resultado en cuanto a la precisión y medida de la posición, estará sometido a varias fuentes de error. Lo importante es que para cumplir con las exigencias de calidad inmersas en la naturaleza misma de los trabajos, es necesario conocer tres factores fundamentales relacionados a dichos errores, (Diego Guandique, et al, 2014) tales factores son: las causas que los generan, la forma de minimizarlos -si no se pueden eliminar completamente- y sus magnitudes. Estos errores pueden clasificarse en tres grupos: errores dependientes del satélite, errores dependientes de la propagación de la señal y errores dependientes del receptor y se desglosan de la siguiente manera:

2.5.1. Errores dependientes del satélite.

El Segmento de control operacional, como administrador directo de la constelación NAVSTAR, es el encargado del manejo y tratamiento de estos tipos de errores, (Diego Guandique, et al, 2014), como son:



- **Error en el reloj del satélite.** Puestos que ningún GPS tiene relojes perfectos incluso el atómico, siendo así existe un desfase del reloj del satélite respecto al tiempo GPS, este error de los satélites pueden eliminarse mediante las correcciones enviadas en el mensaje de navegación que recibe cada receptor, los cuales son calculados, enviados y actualizados por las estaciones de seguimiento.
- **Error en los parámetros orbitales del satélite.** El movimiento orbital de los satélites se encuentran sometidos a la acción de diferentes agentes (cambios gravitacionales, efectos magnéticos, vientos solar, efectos de la relatividad, etc.) que alteran su trayectoria, asociando un error a las efemérides transmitidas, ya que el cambio en la posición del satélite hace que el mensaje de navegación transmitido conduzca a un cálculo erróneo de la posición del receptor. Para corregir este error es necesario trabajar con las efemérides precisas, donde se conocen las verdaderas posiciones de los satélites o realizando cálculos diferenciales o post-proceso.
- **Disponibilidad Selectiva (SA).** Consiste en la degradación intencionada de la señal por parte del Departamento de Defensa de los Estados Unidos para el usuario civil, esta degradación ocurría en los estados de los relojes (diether), y en los parámetros orbitales (epsilon), los errores que se introducía eran de ± 35 metros.
- **Anti-Spoofing.** Este método de degradación de la señal consiste en encriptar el código "P" mediante el uso del código "Y", de tal forma que únicamente los usuarios autorizados tienen acceso al código "P".

2.5.2. Errores dependientes de la propagación de la señal.

En el posicionamiento por satélite se asume que la señal viaja a una velocidad constante igual a la de la luz. Sin embargo, la velocidad de la luz se mantiene constante solamente en el vacío. Cuando la señal penetra la atmósfera, específicamente la ionosfera y la troposfera, debido a los cambios en densidades, se producen refracciones que reducen la



velocidad de la señal. Así mismo, cualquier otro tipo de obstáculo que altere o perturbe la señal en su trayecto será objeto de una fuente de error, (Diego Guandique, et al, 2014).

2.5.2.1. Refracción Ionosférica

La ionósfera es una región de la atmósfera comprendida entre los 50 hasta los 1000 km de altitud donde al existir electrones libres en la ionósfera (Figura 10), la señal GPS no viaja a la velocidad de la luz, sino que se retrasa proporcionalmente al número de electrones libres encontrados e inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia.

Para eliminar el retardo ionosférico se utilizan dos señales de diferentes frecuencias. Esta es una de las razones por la que los receptores de precisión utilizan dos frecuencias (L1 y L2). También al trabajar en modo diferencial es recomendable aplicar líneas base a partir de 10 km., así también se recomienda realizar observaciones nocturnas e incrementar la máscara de observación (15 grados normalmente) para minimiza el error, (Diego Guandique, et al, 2014; Aguilera, 2001).

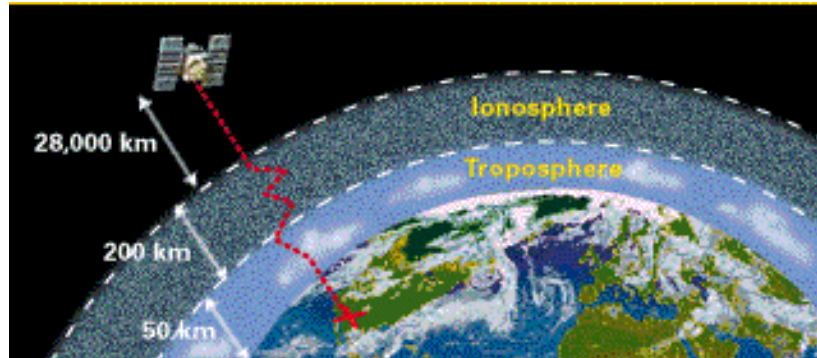
2.5.2.2. Refracción Troposférica

La troposfera esta compuesta mayormente por aire seco y vapor de agua. Comprende hasta unos 80 km, pero sólo en los últimos cuarenta afecta retardando la señal GPS significativamente (Figura 10). Dicho retraso dependerá de condiciones como temperatura, humedad, presión y la altura. 80 km.

Para eliminar este error se utilizan modelos troposféricos y no observaciones de doble frecuencia puesto que el error troposférico afecta a todas las frecuencias por debajo de 30 GHz, llegando a corregir el error hasta dejarlo en 1 a 5 cm.

El retardo troposférico causa un error de 1.9 a 2.5 m en la dirección cenital y se incrementa cuando decrece el ángulo, llegando a ser de 20 a 28 m.

Figura 10. Refracción Ionosférica y Troposférica.



Tomado de Diego Guandique, et al, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una Frecuencia Aplicando el Sistema Global de Navegación (GNSS) Utilizando un Modelo Geoidal y su Análisis Comparativo con Levantamiento Topográfico con Estación Total.

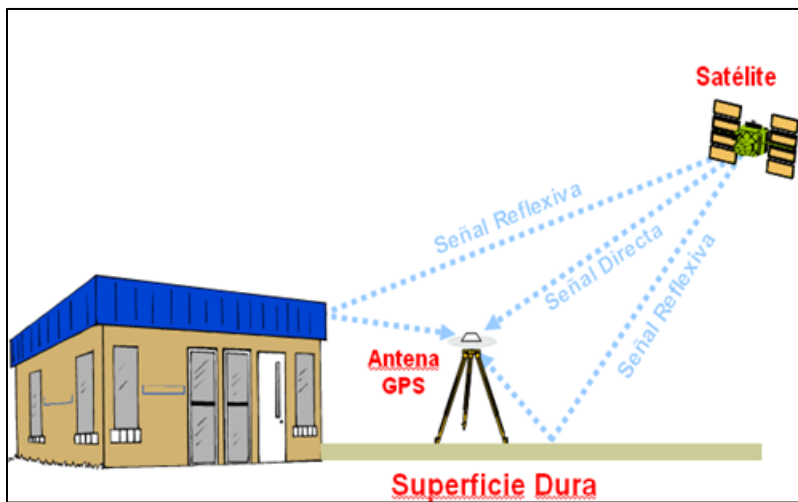
2.5.2.3. Multipath o Multitrayectoria

El efecto Multitrayectoria se debe a que la señal entrante en el receptor puede rebotar sobre ciertos objetos causada por la reflexión en zonas cercanas a la antena (Figura 11). La señal del satélite llega al receptor por dos o más caminos diferentes, (Aguilera, 2001; Diego Guandique, et al, 2014).

Las principales formas de minimizar este error son:

- Utilización de máscaras de elevación, para no tener en cuenta señales que provienen por debajo de este ángulo.
- Ubicación de la antena lejos de zonas reflectantes
- Utilización de la correlación estrecha (narrow correlation), que utiliza un pico de la señal estrecho de correlación, reduciendo así el enmascaramiento del pico real.
- Utilización de planos de tierra y materiales que absorban la señal.
- Actualmente existen antenas que reducen considerablemente el efecto (Choke Ring o anillos de choque), hasta 1 m, sin embargo, en casos extremos producen pérdidas de ciclo o señal.

Figura 11. Efecto Multitrayectoria.



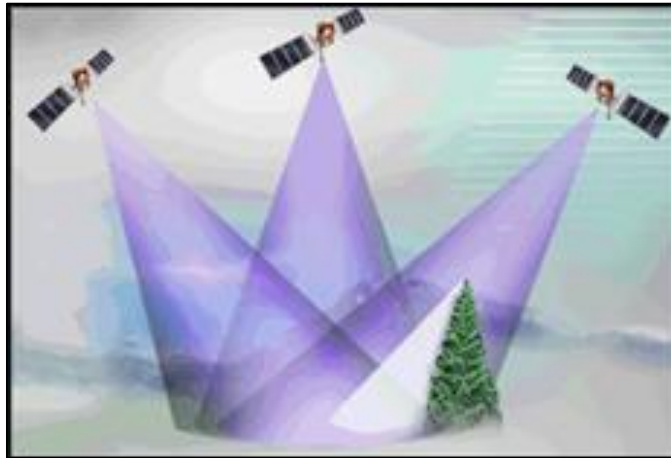
Tomado de Diego Guandique, et al, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una Frecuencia Aplicando el Sistema Global de Navegación (GNSS) Utilizando un Modelo Geoidal y su Análisis Comparativo con Levantamiento Topográfico con Estación Total.

2.5.2.4. Pérdida de Ciclo

Las pérdidas de ciclo son producidas debido al salto en el registro de las medidas de fase (Figura 12) causadas por: (Diego Guandique, et al, 2014)

- Intercepción o pérdida de la señal enviada por el satélite a causa de árboles, edificios, montañas, etc.
- Baja calidad de la señal SNR (calidad señal-ruido), debido a la poca elevación del satélite, retardo ionosférico, multipath, etc.
- Fallo en el software del receptor
- Mal funcionamiento del oscilador del satélite (poco probable).

Figura 12. Pérdida de ciclo



Tomado de Diego Guandique, et al, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una Frecuencia Aplicando el Sistema Global de Navegación (GNSS) Utilizando un Modelo Geoidal y su Análisis Comparativo con Levantamiento Topográfico con Estación Total.

2.5.3. Errores Dependientes del Receptor

Los errores del receptor son debidos al equipo completo de recepción constituido por receptor y antena.

2.5.3.1. Estado del reloj del receptor

En el momento en que el reloj del receptor recibe la señal del satélite se genera un desfase en el mismo con respecto a la escala de tiempo, afectando a todas las medidas de pseudodistancias realizadas por cada época. Los errores en los osciladores de los receptores pueden ser eliminados trabajando con posicionamiento relativo por medidas de fase, planteando las ecuaciones de dobles diferencias. Los receptores geodésicos y topográficos minimizan el error porque poseen relojes de mayor precisión, (Ayala, 2012).

2.5.3.2. Variación del centro de fase de la antena

Este error se genera cuando no coinciden el centro radioeléctrico o punto al que realmente llega la señal y el centro mecánico o físico, generando un error residual por excentricidad que puede ser de unos milímetros, (Ayala, 2012).



2.5.3.3. Incertidumbre de las medidas

Se conoce así al error que en una medida electrónica determinada se genera de forma aleatoria. El error aleatorio es aquel que representa la desviación con respecto a cero de las medidas realizadas. Puede establecerse un error por esta causa de entre 1 mm o 2 mm en condiciones ideales (geometría satelital, actividad atmosférica y obstáculos).

2.5.3.4. Otros errores de los equipos

Son aquellos provenientes de las condiciones de calidad, estado y uso del aparato receptor, los cuales pueden ser (Ayala, 2012):

- Mala colocación de la antena
- Inexperiencia en el manejo de los equipos
- Desconocimiento de las coordenadas correctas de la estación, imprescindibles para la linealización de las relaciones de observación.

A continuación en la Tabla 5 y 6 se resumen las fuentes de error en los GPS.

Tabla 5. Error típico en metros por satélite

ERROR	GPS (m)	DGPS (m)
Efemérides	2.5	0.0
Reloj Satélite	1.5	0.0
Ionósfera	5	0.4
Tropósfera	0.5	0.2
Ruido del receptor	0.3	0.3
Multipath	0.6	0.6
SA	30	0
Precisión Típica de la Posición		
Horizontal	15	1.3
Vertical	25	2.0
3-D	93	2.8



Tabla 6. Precisión Típica de la Posición

ERROR	GPS (m)	DGPS (m)
Horizontal	15	1.3
Vertical	25	2.0
3-D	93	2.8



CAPITULO III

3.1 . Técnicas de medición con DGPS y estación total

Existen muchos elementos que influyen en la elección de la técnica de observación, ya sea en un trabajo Geodésico o Topográfico. Entre los factores que normalmente influyen están los requerimientos de precisión, la distancia entre puntos, los costos y las clases de equipos disponibles, etc.

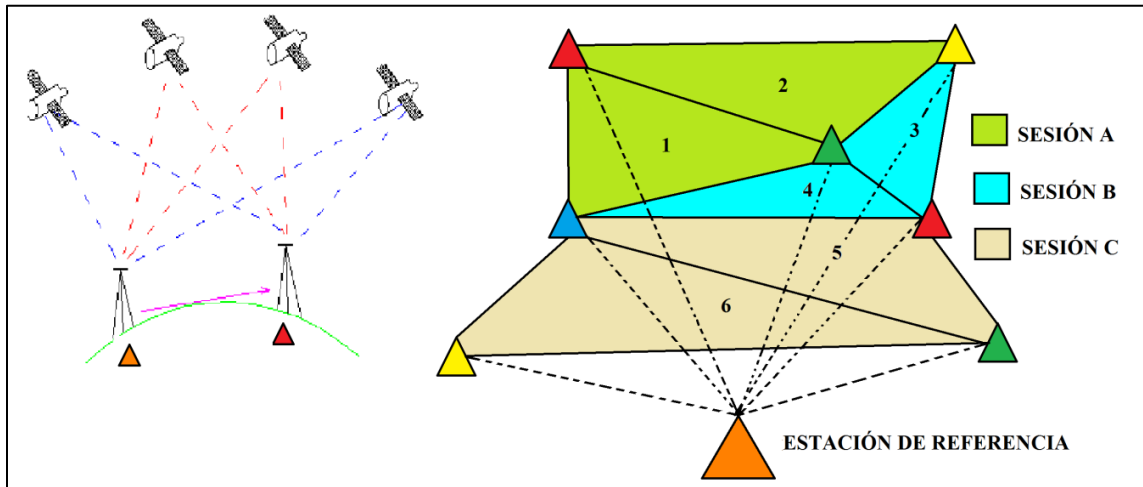
Entre las técnicas más utilizadas se tiene, (Diego Guandique, et al, 2014):

- Método Estático
- Estático Rápido
- Método Cinemático
- Stop & Go (Parar e Ir)
- Cinemático en Tiempo Real RTK (Real Time Kinematic)

3.1.1. Método Estático

Este método de posicionamiento es utilizado para observaciones largas (por lo general mayores de 20 km) cuyos resultados se caracterizan por ofrecer el máximo nivel de precisión. Es la medición clásica de líneas bases. Consiste en estacionar dos o más receptores en los puntos que se desea conocer sus coordenadas (Figura 13), de esta manera almacenar datos y calcular las coordenadas en tiempo diferido. En este tipo de posicionamiento se obtienen soluciones tan redundantes como deseemos, y para mejorar la precisión se debe prolongar la observación, (Peñafiel, 2009; Diego Guandique, et al, 2014).

Figura 13. Metodología para realizar observaciones por el método estático



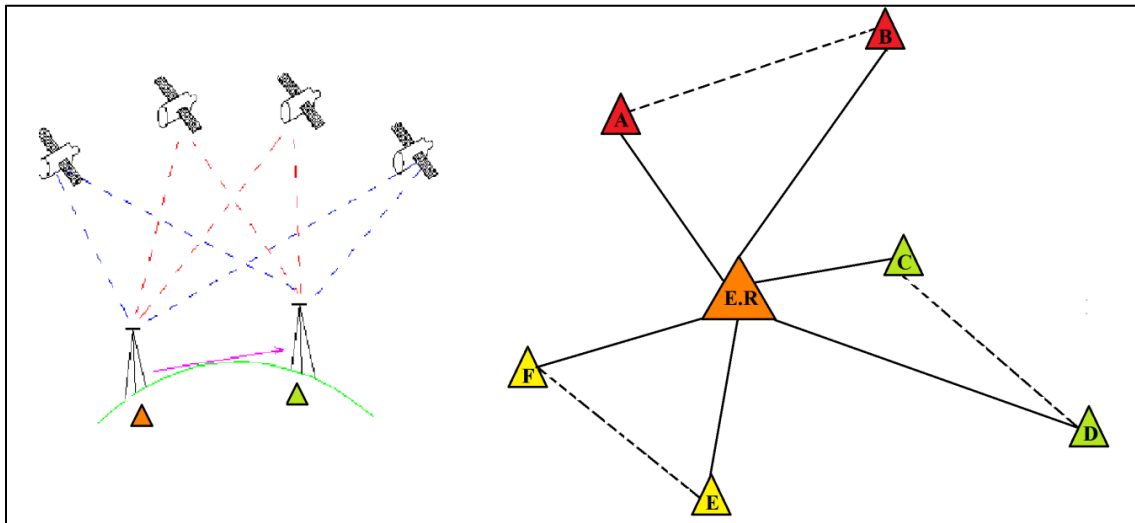
Tomado de Diego Guandique, et al, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una frecuencia Aplicando GNSS Utilizando un modelo Geoidal y su Análisis comparativo con el Levantamiento Topográfico con Estación Total. 2014

Las aplicaciones en las que se emplean este método son para el Control Geodésico, Monitoreo de Redes GPS Nacionales e Internacionales, Control de movimientos tectónicos, control de deformaciones en diques (Presas) y estructuras, una de las ventajas principales es que es más preciso, eficiente y económico que los métodos topográficos tradicionales, (Peñafiel, 2009).

3.1.2. Método Estático Rápido

Con el Método Estático Rápido, la distancia máxima que debe existir entre el punto de referencia de coordenadas conocidas (Estación Base) y el móvil (Rover) es de 20 km, siendo similar al método estático con la diferencia únicamente en el tiempo de medida que puede ser de 5 a 20 minutos (Figura 14), esto dependiendo de la cantidad de satélites disponibles, La Geometría de los satélites (GDOP), la configuración y longitud de la línea base a medir, lo que permite medir líneas bases en tiempos más cortos con precisiones máximas de $\pm (5 \text{ a } 10 \text{ mm} + 1\text{ppm})$, (Guandique, et al, 2014; Peñafiel, 2009).

Figura 14. Esquema del Método Estático Rápido



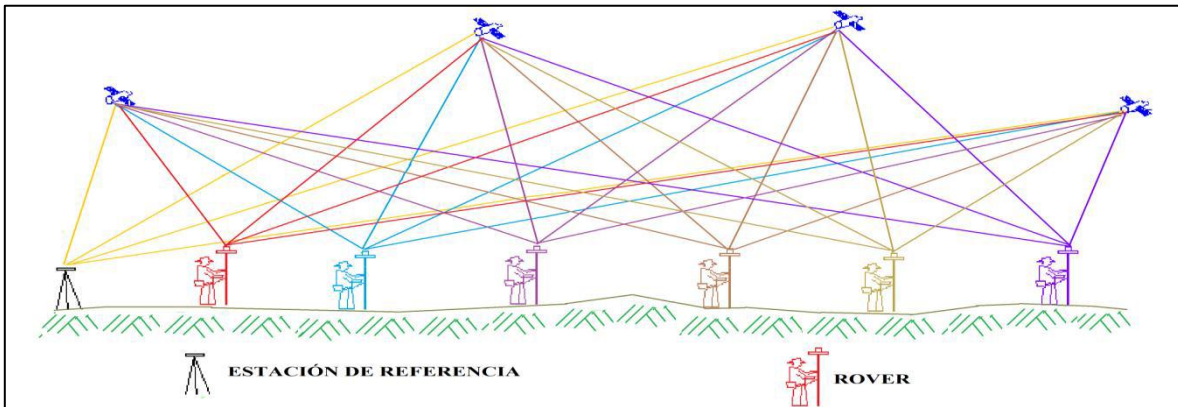
Tomado de Diego Guandique, et al, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una frecuencia Aplicando GNSS Utilizando un modelo Geoidal y su Análisis comparativo con el Levantamiento Topográfico con Estación Total. 2014

De acuerdo a las recomendaciones, esta técnica es ideal para realizar densificaciones de redes, levantamientos de control, determinación de puntos de control, sustituye al método clásico de poligonal, levantamientos topográficos a detalles o cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos, apoyos fotogramétricos, (Peñafiel, 2009; Diego Guandique, et al, 2014).

3.1.3. Método Cinemático

Es el método menos preciso pero el más rápido para levantar muchos puntos. En esta técnica, se sitúa un receptor (llamado Base) sobre un punto de referencia conocido, mientras el otro punto (llamado Rover), se desplaza por la zona del proyecto, ya que en este tipo de técnica, toda la trayectoria es de interés (Figura 15). La precisión es de $\pm (1 \text{ cm} + 2 \text{ ppm})$, siendo recomendable para levantamientos a detalles en zonas despejadas, levantamientos de ejes de carreteras, medición de perfiles transversales y navegación.

Figura 15. Método cinemático

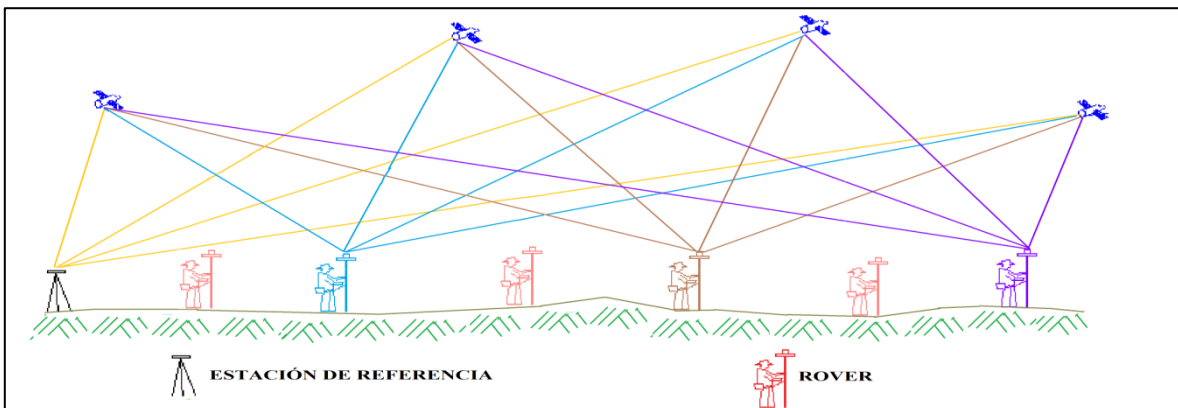


Tomado de Diego Guandique, et al, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una frecuencia Aplicando GNSS Utilizando un modelo Geoidal y su Análisis comparativo con el Levantamiento Topográfico con Estación Total. 2014

3.1.4. Método Stop & Go

Al igual que en el método cinemático, en la Figura 16 se demuestra que esta técnica se utiliza un receptor Base ubicado en un punto de referencia conocido, mientras que el Rover, se desplaza por la zona del proyecto, observando únicamente algunos puntos de interés durante un tiempo de 1 a 5 minutos.

Figura 16. Método Stop & Go



Tomado de Diego Guandique, et al, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una frecuencia Aplicando GNSS Utilizando un modelo Geoidal y su Análisis comparativo con el Levantamiento Topográfico con Estación Total. 2014



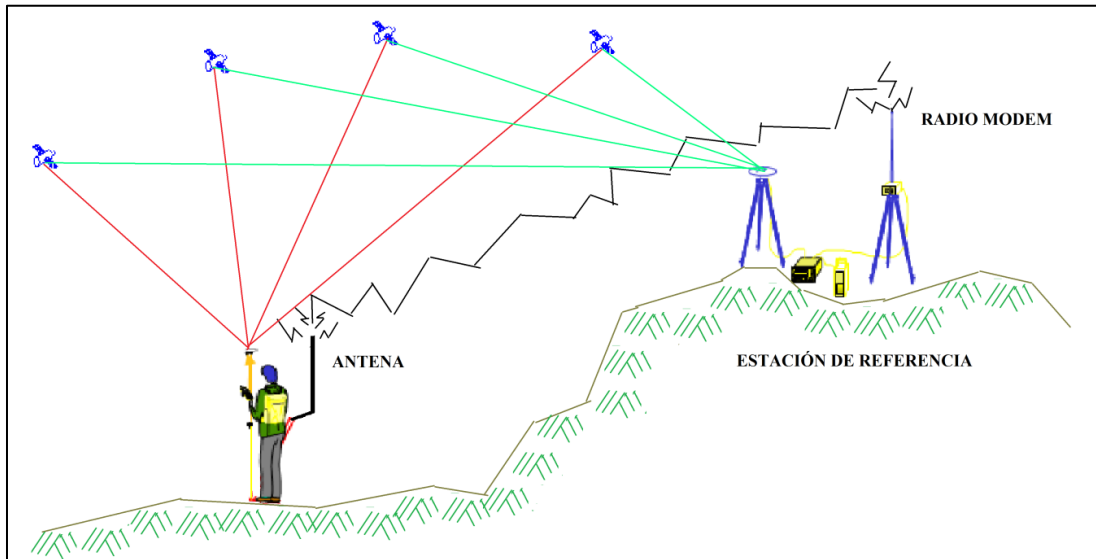
La precisión máxima es de $\pm (1 \text{ cm} + 2 \text{ ppm})$, ésta técnica se recomienda para levantamientos de varios puntos específicos, levantamientos topográficos en zonas despejadas y la distancia máxima entre la estación Base y el Rover es de 10 km, (Diego Guandique, et al, 2014).

3.1.5. Método Cinemático en Tiempo Real (RTK)

En los métodos descritos anteriormente se tiene el inconveniente de que la información levantada es accesible en la etapa de post-procesamiento, no así con el método cinemático en Tiempo Real que permite conocer inmediatamente las coordenadas del receptor móvil permitiendo comprobar en cualquier momento la calidad de las mediciones y hacer implantaciones con GPS

Esta técnica realiza un enlace de Radio Modem que transmite datos GPS del receptor Base a los Rover. Luego el Rover procesa los datos conforme se colectan (Figura 17), (Diego Guandique, et al, 2014).

Figura 17. Método RTK



Tomado de Diego Guandique, et al, 2014. Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una frecuencia Aplicando GNSS Utilizando un modelo Geoidal y su Análisis comparativo con el Levantamiento Topográfico con Estación Total. 2014

La precisión máxima es de $\pm (1 \text{ a } 2 \text{ cm} + 2 \text{ ppm})$, siendo recomendable para levantamientos de control, levantamientos y localización de detalles, medición de perfiles, volúmenes y para realizar replanteos, los tiempos de observación pueden ser de segundos a minutos, teniendo que estar la estación Base en un lugar estratégico preferible en una zona elevada y a una distancia máxima de 10 km.

3.2. Técnicas de Medición con Estación Total

Se denomina como Estación Total al instrumento que integra en un sólo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico, un medidor electrónico de distancias y un microprocesador para realizar los cálculos que sean necesarios para determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, (Pachas, 2009; Diego Guandique, et al, 2014).

El modo en que opera una Estación Total es similar al de un teodolito electrónico, se comienza haciendo estación en el punto topográfico y luego se procede a la nivelación del aparato. Para iniciar las mediciones es necesario orientar la Estación Total previamente, para lo cual se requiere hacer estación en un punto de coordenadas conocidas o



supuestas y conocer un azimut de referencia, el cual se introduce mediante el teclado. Para la medición de distancias, el distanciómetro electrónico incorporado a la Estación Total calcula la distancia de manera indirecta en base al tiempo que tarda la onda electromagnética en viajar de un extremo a otro de una línea y regresar. Las lecturas de distancia se realizan mediante una onda electromagnética portadora con distintas frecuencias que rebota en un prisma ubicado en el punto a medir y regresa, tomando el instrumento el desfase entre las ondas, (Diego Guandique, et al, 2014; Pachas, 2009).

Los prismas son circulares, de cristal óptico de alta calidad, fabricados observando estrictas tolerancias y vienen acompañados de un conjunto de accesorios: porta prismas, soportes de prismas, bases nivelantes, trípodes, balizas o bastones para prismas, trípodes para soporte de balizas o bastones.

Este instrumento permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, como también a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador.

Las lecturas que se obtienen con este instrumento son las de ángulos verticales, horizontales y distancias. Otra particularidad de este instrumento es la posibilidad de incorporarle datos como coordenadas de puntos, códigos, correcciones de presión y temperatura, etc. La precisión de las medidas es del orden de la diezmilésima de gonio en ángulos y de milímetros en distancias, pudiendo realizar medidas en puntos situados entre 2 y 5 kilómetros según el aparato y la cantidad de prismas usada, (Diego Guandique, et al, 2014).

3.2.1. Sistemas Topográficos

La determinación de la forma real de un objeto no es labor sencilla, y principalmente cuando el objeto presenta dificultades intrínsecas como puede ser su tamaño o su propia forma. En general, la adecuada definición de sus formas obliga a considerarlo como objeto tridimensional y a realizar su medición mediante sistemas que proporcione la



ubicación en el espacio de sus distintos elementos, es decir, que permita conocer las tres coordenadas cartesianas de los distintos puntos que definen su forma.

La medición y levantamiento planimétrico de edificios y construcciones ya existentes plantea dificultades debido a la inaccesibilidad de muchas partes. En los edificios históricos, esta inaccesibilidad suele ser especialmente acusada por el gran tamaño de los espacios y estructuras, siendo muy elevada su altura. Las técnicas habituales de medición, basadas en el empleo de simples dispositivos de medición lineal (cintas métricas), combinadas con dispositivos para el control de la verticalidad (plomadas y niveles), además de no dar información tridimensional clara de los elementos medidos, exigen poder acceder a los puntos extremos entre los que se realiza la medición. Por ello, en trabajos complejos y en los casos en que no es posible este acceso, se hace preciso acudir a técnicas instrumentales que mediante el concurso de aparatos o equipos más o menos sofisticados, permiten la medición a distancia sin tener necesidad de acceder físicamente a los puntos de estudio. Gracias a estos métodos se trabaja en coordenadas espaciales con lo que se tiene siempre a mano datos del volumen y espacio en lugar de datos puramente planos, (Diego Guandique, et al, 2014).

También se realiza trabajos fotogramétricos, generalmente, es necesario la obtención de las coordenadas de algunos puntos de control, para su utilización en el proceso denominado orientación. Para la obtención de estos datos en la mayoría de los casos se recurre a técnicas de medición a distancia.

Estas técnicas instrumentales de medición se basan fundamentalmente en la determinación de la dirección y la distancia a la que se encuentran los puntos del objeto con respecto aquellos desde los que se realizan las mediciones, (Diego Guandique, et al, 2014).

3.2.2. Métodos de Medición Topográficos

Existen varios métodos topográficos para la realización de levantamientos topográficos, siendo principalmente el método de radiación y el método de poligonales, los cuales se describen a continuación:



El método de radiación.

Consiste en la determinación de la posición en el espacio con el conocimiento de la dirección y la distancia a la que se encuentra con respecto al punto desde donde se realiza la medición. Con estos datos se obtiene las coordenadas polares de los diferentes puntos, fácilmente transformables a coordenadas cartesianas.

El método de poligonales

Es un método planimétrico empleado para la obtención de puntos (estaciones) que sirven de base para el levantamiento de los puntos deseados mediante radiación o intersección directa. Este método surge por la imposibilidad de levantar todos los puntos deseados desde tan sólo una estación. Gracias a él se obtiene las coordenadas de los puntos de estación con respecto a un sistema de referencia elegido, pudiendo a continuación relacionar entre sí todos los puntos conseguidos desde las diferentes estaciones.

El método de poligonales consiste en definir una serie de puntos de estación dispuestas en recorrido, de tal manera, que desde cada una de ellas se puede ver la estación anterior y posterior. A este conjunto de estaciones se le denomina poligonal. Se mide desde cada estación las direcciones y distancias con las adyacentes. Este recorrido deberá arrancar y terminar en la misma estación (poligonal cerrada) o en dos estaciones con coordenadas conocidas (poligonal encuadrada). Partiendo desde la primera estación se calcula la posición de la siguiente por simple paso de coordenadas polares y cartesianas y giro y traslación del sistema de coordenadas local de cada estación unificándolo con el general. Conocidas las coordenadas de la estación segunda se opera de forma sucesiva en cada una de las siguientes hasta llegar a la estación final. Las coordenadas obtenidas para ésta diferirán normalmente de las previamente conocidas dando una idea del error cometido en la medición. Si el error resulta tolerable según ciertos criterios preestablecidos, se compensa distribuyéndolo entre todas las estaciones, (Diego Guandique, et al, 2014).



CAPITULO IV

4.1 Resultados y Discusión.

Se ha obtenido un conjunto de datos correspondiente a siete campañas de monitoreo geodésico realizadas por la Secretaría del Agua – Demarcación Hidrográfica Santiago mediante el levantamiento de información con Estación Total. Los datos monitoreados corresponden a la medición de ocho hitos, en dos campañas entre los meses de agosto 2013 y julio 2014, y la medición de 14 hitos realizada en 5 campañas entre los meses de agosto a octubre 2014. (Anexo2. Detalle del cálculo de los datos con Estación Total)

Por otra parte, durante el desarrollo del presente trabajo, se ha realizado el monitoreo geodésico mediante observaciones DGPS, obteniendo un conjunto de datos correspondiente a 20 campañas, de las cuales las dos primeras (realizadas en octubre y noviembre de 2013) se monitoreó 8 hitos, y las 18 campañas restantes (realizadas desde enero de 2014 hasta junio de 2015) se monitoreó 14 hitos. (Anexo 3. Detalle del cálculo de los datos con DGPS)

Mediante el análisis del conjunto de datos levantados tanto con DGPS como con la Estación Total, se ha determinado los desplazamientos en el plano horizontal y vertical calculando las diferencias entre las coordenadas Norte, Este y altura de los datos obtenidos entre el primer y último monitoreo de cada año, en la Tabla. 7 se presenta los datos obtenidos con DGPS y en la Tabla 8 los datos obtenidos con Estación Total.



Tabla 7. Coordenadas X, Y, Z iniciales, finales y diferencias entre ambas, medidas con DGPS

PERIODO	12/10/2013			21/11/2013			Δ COORDENADAS		
PUNTOS	COORDENADAS INICIALES			COORDENADAS FINALES			δ		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
CJ-2	739839.486	9685621.310	2811.213	739839.493	9685621.310	2811.203	0.007	0.000	-0.010
CJ-3	739599.239	9685586.585	2748.735	739599.245	9685586.575	2748.730	0.006	-0.010	-0.005
CJ-4	739538.590	9685590.331	2753.833	739538.592	9685590.341	2753.848	0.002	0.010	0.015
CJ-5	739464.295	9685585.135	2749.595	739464.289	9685585.130	2749.585	-0.006	-0.005	-0.010
CJ-6	739417.778	9685580.426	2744.601	739417.782	9685580.420	2744.615	0.004	-0.006	0.014
CJ-8	739282.166	9685526.937	2735.947	739282.177	9685526.936	2735.924	0.011	-0.001	-0.023
CJ-9	739198.282	9685489.463	2739.989	739198.281	9685489.468	2739.981	-0.001	0.005	-0.008
CJ-10	739155.316	9685446.637	2715.197	739155.323	9685446.640	2715.211	0.007	0.003	0.014
PERIODO	15/01/2014			24/06/2015			Δ COORDENADAS		
PUNTOS	COORDENADAS INICIALES			COORDENADAS FINALES			δ		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
CJ-2	739839.494	9685621.309	2811.203	739839.497	9685621.311	2811.212	0.003	0.002	0.009
CJ-3	739599.227	9685586.576	2748.732	739599.226	9685586.551	2748.712	-0.001	-0.025	-0.020
CJ-4	739538.578	9685590.334	2753.837	739538.575	9685590.318	2753.83	-0.003	-0.016	-0.007
CJ-5	739464.285	9685585.125	2749.574	739464.288	9685585.103	2749.585	0.003	-0.022	0.011
CJ-6	739417.766	9685580.411	2744.612	739417.774	9685580.406	2744.593	0.008	-0.005	-0.019
CJ-7	739321.874	9685546.463	2738.464	739321.876	9685546.443	2738.459	0.002	-0.020	-0.005
CJ-8	739282.174	9685526.932	2735.939	739282.178	9685526.913	2735.915	0.004	-0.019	-0.024
CJ-9	739198.276	9685489.463	2739.987	739198.281	9685489.455	2739.957	0.005	-0.008	-0.030
CJ-10	739155.312	9685446.627	2715.191	739155.321	9685446.605	2715.198	0.009	-0.022	0.007
CJ-11	739152.643	9685216.468	2608.053	739152.649	9685216.447	2608.04	0.006	-0.021	-0.013
N1	739104.529	9684996.712	2458.376	739104.513	9684996.699	2458.312	-0.016	-0.013	-0.064
N2	739092.583	9684952.602	2435.394	739092.592	9684952.577	2435.389	0.009	-0.025	-0.005
N3	739843.583	9684989.859	2546.633	739843.576	9684989.839	2546.635	-0.007	-0.020	0.002
N4	739989.398	9685141.559	2593.895	739989.405	9685141.558	2593.895	0.007	-0.001	0.000

En la Tabla 7 se observa que las diferencias de los datos medidos con DGPS en el año 2013, no presentan variabilidad para ΔX y ΔY , mientras que para ΔZ en el hito CJ-8 presenta el valor más alto (-0.023 m) lo que indica que puede deberse a un desplazamiento en el eje Z. Los datos correspondientes al año 2014 – 2015. En lo relativo al ΔX se observa que en el hito N1 la mayor diferencia es de -0.016 m y el resto de hitos no supera los 10 mm, mientras para el ΔY se tiene valores que superan los 10 mm correspondientes a los hitos CJ-3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, N1, 2 y 3, con un valor máximo en los hitos CJ-3 (-0.025) y N2 (-0.025) y con un mínimo valor para los hitos CJ-2 (0.002), CJ-6 (-0.005), CJ-9 (-0.008) y N4 (-0.001). Las diferencias de mayor valor en el ΔZ corresponden



a los hitos CJ-3, 5, 6, 8, 9, 11 y N, con un valor máximo para el hito N1 (-0.064 m) y con un valor mínimo para los hitos CJ-2, 4, 7, 10, N2, N3 (0.002) y N4 (0.000)

Las diferencias para ΔX con datos de la Estación Total se detalla en la Tabla 8 correspondiente al año 2013, se observa que en el hito CJ-7 presenta un valor mínimo de -0.007 m y para el resto de hitos (CJ-2 al CJ-11) las diferencias son mayores a 10 mm con valores que están entre -0.014 m a -0.105 m, con datos de ΔY las diferencias son inferiores a los 10 mm y corresponden a los hitos CJ-3 (0.000), CJ-4 (0.003), CJ-10 (0.010) y CJ-11 (-0.008), mientras que para el resto de hitos (CJ-2, 5, 6, 7 y 8) se tiene valores superiores a los 10 mm; para el ΔZ los valores inferiores a los 10 mm corresponden a los hitos CJ-4 (-0.009) y CJ-7 (0.005), y los hitos con valores mayores a los 10 mm son CJ-2, 3, 5, 6, 8, 9 y 11, estos datos están entre -0.017m a -0.072 m.

Las diferencias para ΔX correspondientes al año 2014, presentan valores inferiores a los 10 mm en los hitos CJ-4, 5, 7, 8, 9, 10, N1, 3 y 4 cuyos datos están entre 0.000 m a 0.006 m y los hitos que presentan valores mayores a los 10 mm son los hitos CJ-2, 3, 6, 11 y N2, estos datos están entre 0.023 m a -0.049 m. Para las diferencias de ΔY se tiene valores inferiores a los 10 mm en los hitos CJ-2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, N1, 3 y 4, estos datos están entre -0.003 m a 0.009 m, y los valores superiores a los 10 mm corresponden a los hitos CJ-3, 10, 11 y N2, que están entre -0.012 m a -0.024 m. Las diferencias en el ΔZ correspondiente a los datos inferiores a los 10 mm están en los hitos CJ-2, 3, 6, 8, 11 y N4 cuyos datos están entre 0.000 m a 0.010 m mientras que en los hitos CJ-4, 5, 7, 9, 10, N1, 2, y 3 los datos son superiores a los 10 mm, y se encuentran entre 0.012 m a 0.025 m.



Tabla 8. Coordenadas X, Y y Z iniciales, finales y diferencia entre ambas, de las observaciones mediante una Estación Total.

PERIODO	15/08/2013			22/07/2014			Δ COORDENADAS		
PUNTOS	COORDENADAS INICIALES			COORDENADAS FINALES			ξ		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
CJ-2	740090.631	9685987.071	2811.162	740090.570	9685987.093	2811.219	-0.061	0.022	0.057
CJ-3	739850.401	9685952.375	2748.671	739850.296	9685952.375	2748.654	-0.105	0.000	-0.017
CJ-4	739789.741	9685956.121	2753.779	739789.641	9685956.124	2753.770	-0.100	0.003	-0.009
CJ-5	739715.431	9685950.899	2749.549	739715.328	9685950.926	2749.519	-0.103	0.027	-0.030
CJ-6	739668.901	9685946.259	2744.583	739668.817	9685946.213	2744.548	-0.084	-0.046	-0.035
CJ-7	739572.915	9685912.284	2738.399	739572.908	9685912.259	2738.404	-0.007	-0.025	0.005
CJ-8	739533.217	9685892.747	2735.842	739533.203	9685892.729	2735.901	-0.014	-0.018	0.059
CJ-9	739449.241	9685855.261	2739.941	739449.301	9685855.271	2739.869	0.060	0.010	-0.072
CJ-10				739406.328	9685812.425	2715.217			
CJ-11	739403.687	9685582.239	2608.007	739403.637	9685582.231	2607.977	-0.050	-0.008	-0.030

PERIODO	14/08/2014			01/10/2014			Δ COORDENADAS		
PUNTOS	COORDENADAS INICIALES			COORDENADAS FINALES			ξ		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
CJ-2	740090.580	9685987.100	2811.182	740090.606	9685987.092	2811.187	0.025	-0.008	0.005
CJ-3	739850.274	9685952.375	2748.772	739850.298	9685952.361	2748.775	0.024	-0.015	0.002
CJ-4	739789.622	9685956.131	2753.844	739789.622	9685956.128	2753.827	0.000	-0.003	-0.017
CJ-5	739715.326	9685950.914	2749.628	739715.332	9685950.924	2749.615	0.006	0.009	-0.013
CJ-6	739668.801	9685946.211	2744.626	739668.823	9685946.207	2744.626	0.023	-0.004	0.000
CJ-7	739572.891	9685912.251	2738.518	739572.895	9685912.242	2738.535	0.004	-0.009	0.017
CJ-8	739533.192	9685892.726	2735.966	739533.190	9685892.717	2735.976	-0.002	-0.008	0.010
CJ-9	739449.286	9685855.253	2740.050	739449.279	9685855.248	2740.034	-0.006	-0.005	-0.017
CJ-10	739406.321	9685812.425	2715.250	739406.326	9685812.413	2715.226	0.006	-0.012	-0.023
CJ-11	739403.666	9685582.239	2608.079	739403.628	9685582.215	2608.087	-0.038	-0.024	0.007
N1	740094.648	9685355.561	2546.586	740094.640	9685355.567	2546.611	-0.008	0.006	0.025
N2	740240.497	9685507.276	2593.886	740240.447	9685507.295	2593.905	-0.049	0.019	0.019
N3	739355.507	9685362.433	2458.320	739355.512	9685362.426	2458.332	0.005	-0.007	0.012
N4	739343.572	9685318.323	2435.337	739343.574	9685318.318	2435.347	0.002	-0.004	0.009

Del resultado ΔX , ΔY , ΔZ de las diferencias del primer y último punto medido, se realiza un análisis comparativo entre los datos obtenidos con DGPS y Estación Total para cada hito, esto sirve como parámetros para determinar la variabilidad que existe entre los dos métodos.

Los resultados obtenidos de los dos métodos de medida (DGPS y Estación Total), tanto para ΔX , ΔY , ΔZ , muestra que con Estación Total existen mayor variabilidad en el eje X respecto a precisión, especialmente en las campañas 2 a la 6, no así con DGPS que las variaciones son mínimas. En el eje Y la variabilidad de los datos con Estación Total son mayores que los datos DGPS, (Gráfico. 2 y 3), este resultado es común en los hitos CJ-2



al CJ-11, (Anexo 4. Se presenta los gráficos de la variación de la precisión para datos DGPS y Estación Total de cada hito).

Gráfico 2. Evolución de las variaciones en ΔX , ΔY , en milímetros, a lo largo del tiempo, de las observaciones con DGPS y Estación Total en el hito CJ-2

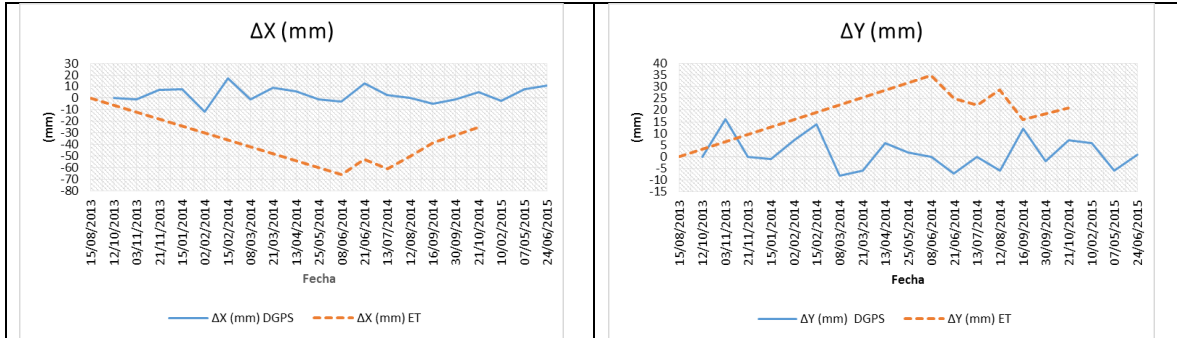
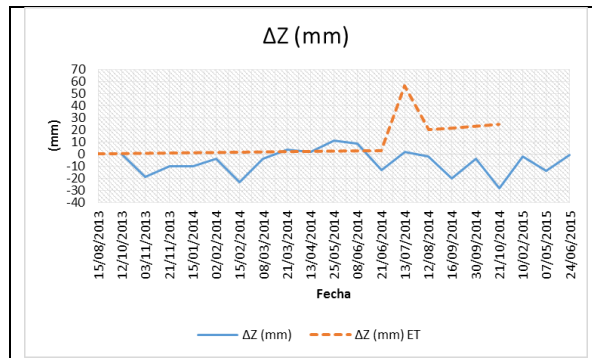


Gráfico 3. Evolución de las variaciones en ΔZ , en milímetros, a lo largo del tiempo, de las observaciones con DGPS y Estación Total en el hito CJ-2



El resultado de las observaciones con DGPS en los hitos más alejados (N1 al N4), la variación de precisión son variables tanto para ΔX , ΔY , ΔZ , este puede deberse al efecto de la presencia de arbolado (Cobertura de suelos), (Diego Guandique, et al, 2014), como también al encontrarse los hitos en pendientes mayores al 70%, esto no permite una buena recepción de los satélites, sin embargo, con los datos de la Estación Total se observa que la variación es menor en estos hitos por cuanto están más cercanos a la base, Gráfico. 4 y 5. (Anexo. 4).



Gráfico 4. Variación de precisión en el hito N1, entre datos DGPS - Estación Total en los puntos más alejados para DGPS y más cercanos para Estación Total

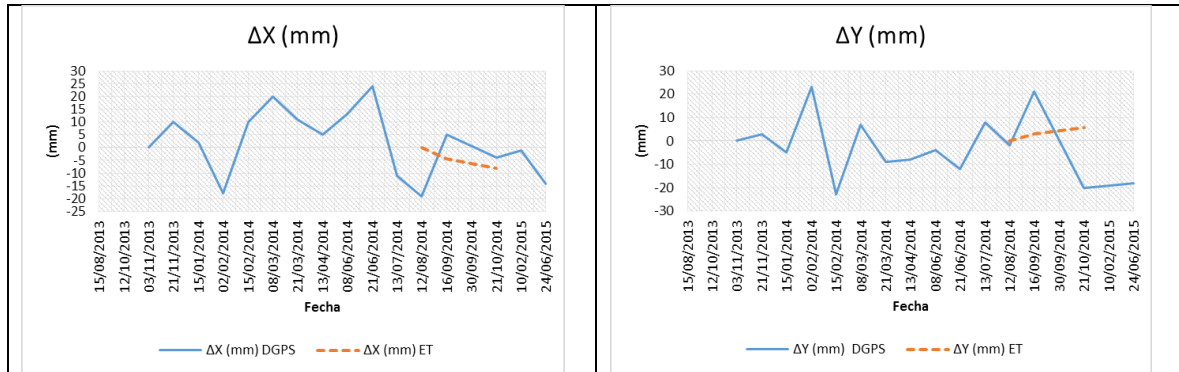
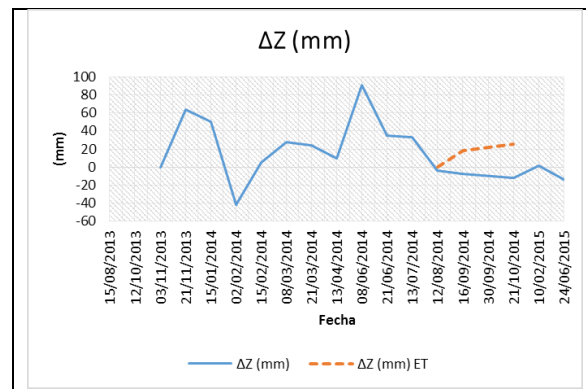


Gráfico 5. Variación de precisión de ΔZ entre datos DGPS y Estación Total en los puntos más alejados para DGPS y más cercanos para Estación Total



Por otra parte los resultados con las observaciones con Estación Total en los hitos más alejados (CJ-2, al CJ-6) la variación de precisión para ΔX , ΔY , ΔZ , también son considerables respecto a las observaciones con DGPS, esto puede deberse a errores cometidos por el factor humano (errores de lectura o percepción visual), y la distancia desde la base hacia los hitos, (Diego Guandique, et al, 2014).



Gráfico 6. Variación de precisión del ΔX , ΔY en el hito CJ-5, entre datos DGPS y el punto más alejado para Estación Total.

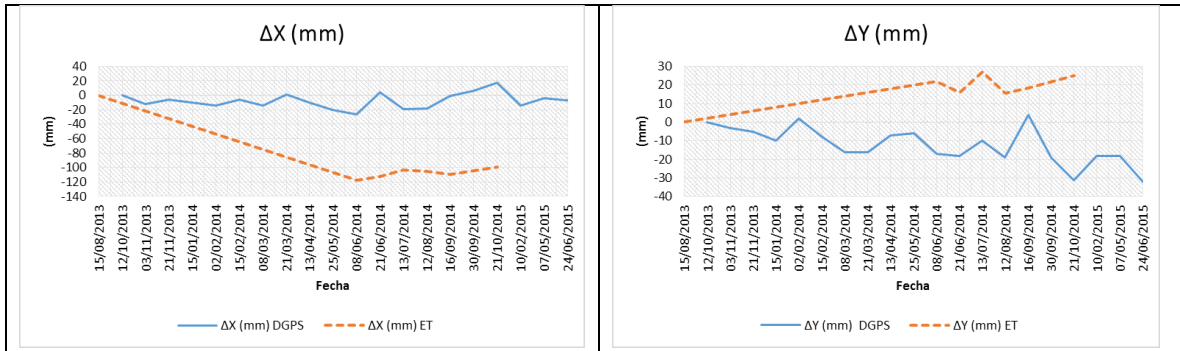
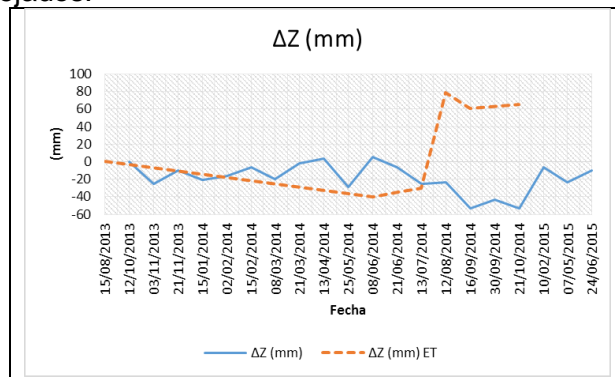


Gráfico 7. Variación de precisión de ΔZ en el hito CJ-5 para datos DGPS y Estación Total en los puntos más alejados.



Para el cálculo de la variabilidad de los datos con el método de medida DGPS se han omitido las observaciones de los hitos CJ-7, CJ-11 (correspondiente a la primera medición), N1 (correspondiente a la campaña 14) y N2 (correspondiente a la primera campaña) por ser datos erróneos o por encontrarse fuera de rango.

Así mismo para conocer la dirección y distancia del vector resultante respecto del primer punto medido (12 Octubre 2013), la diferencia se obtiene con el promedio de todas las observaciones durante la etapa de estudio observando como resultado que los datos medidos con DGPS presentan menor variabilidad que los datos medidos con Estación Total, en la Tabla 9 y 10 se presenta la dirección y desplazamiento del vector resultante de los dos métodos de medida.



Para la obtención de la distancia del vector horizonte se parte de la siguiente ecuación:

$$V_h = \sqrt{\Delta X + \Delta Y}$$

Dónde:

V_h = Vector Horizonte

ΔX = Diferencia del primer y último punto medido para el eje X

ΔY = Diferencia del primer y último punto medido para el eje Y

Con el resultado de las diferencias de los hitos medidos tanto del ΔX , ΔY y ΔZ de cada hito, y con la utilización del software Auto Cad Map 2014 en modo 3D se graficó cada una de los datos, obteniendo la distancia del vector resultante.

La velocidad relativa (mm/año), resulta de multiplicar los días transcurridos desde la primera a la última medida, este resultado dividido para el vector horizonte, se proyecta de tal manera la distancia del desplazamiento en mm/año.

La velocidad vertical (mm/año), resulta de multiplicar los días transcurridos desde la primera a la última medida, este resultado dividido para el ΔZ , se proyecta de tal manera la distancia del desplazamiento en mm/año.



Tabla 9. Dirección y desplazamiento del vector resultante con datos DGPS

Hitos	Días Transcurridos	ΔX (mm) DGPS	ΔY (mm) DGPS	ΔZ (mm)	Dirección	Vector Horizonte (mm)	Vector Resultante (mm)	Velocidad Relativa (mm/año)	Velocidad Vertical (mm/año)
CJ-2	620	3	2	-7	NE	3.70	7.87	2.18	-3.90
CJ-3	620	-6	-10	-5	SO	11.21	12.68	6.60	-3.11
CJ-4	620	-10	0	0	NO	9.74	10.00	5.73	0.28
CJ-5	620	-8	-13	-19	SO	15.29	24.37	9.00	-11.22
CJ-6	620	-5	-10	2	SO	11.02	11.35	6.49	1.18
CJ-7	598	7	-5	13	SE	8.22	15.58	5.02	7.97
CJ-8	620	2	-10	-12	SE	10.42	15.74	6.13	-6.77
CJ-9	620	-8	-1	-5	SO	8.36	9.48	4.92	-3.21
CJ-10	620	-2	-3	0	SO	3.59	3.60	2.11	0.07
CJ-11	598	3	-6	12	SE	6.58	13.74	4.02	7.32
N1	598	-4	-5	14	SO	6.16	15.38	3.76	8.62
N2	525	17	-3	-18	SE	17.74	27.96	12.34	-12.19
N3	580	-7	-8	7	SO	10.51	12.72	6.61	4.53
N4	580	-1	-13	6	SO	13.55	14.35	8.53	3.78

En los datos de la Tabla 9 se observa que los hito CJ-5 y N2 presentan mayor variabilidad y por consiguiente el vector resultante, velocidad relativa (mm/año) y la velocidad vertical (mm/año) resulta mayor para estos hitos (24,37 mm y 27.96 mm respectivamente).

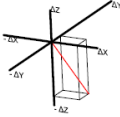
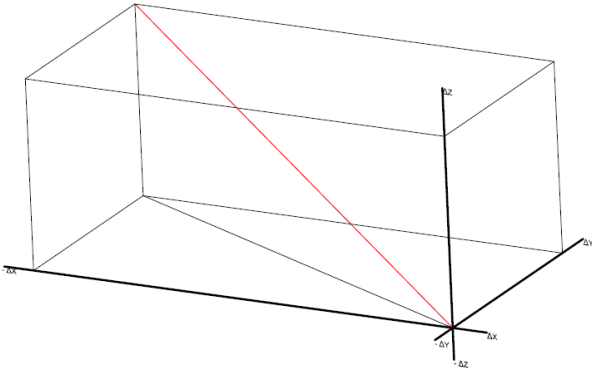
Tabla 10. Dirección y desplazamiento del vector resultante con datos de Estación Total

Hitos	Días Transcurridos	ΔX (mm) _{ET}	ΔY (mm) _{ET}	ΔZ (mm) _{ET}	Dirección	Vector Horizonte (mm)	Vector Resultante (mm)	Velocidad Relativa (mm/año)	Velocidad Vertical (mm/año)
CJ-2	427	-49	25	21	NO	54.79	58.70	46.83	18.02
CJ-3	427	-117	0	49	NO	117.04	126.84	100.04	41.55
CJ-4	427	-87	0	35	NO	87.18	93.77	74.52	29.53
CJ-5	427	-108	21	17	NO	109.80	111.32	93.86	14.36
CJ-6	427	-91	-62	60	SO	110.22	125.39	94.21	51.43
CJ-7	427	-8	-34	82	SO	35.16	89.12	30.05	70.13
CJ-8	427	-31	-27	122	SO	41.28	128.74	35.28	104.02
CJ-9	427	36	-9	82	SE	36.85	90.00	31.50	69.88
CJ-10	110	-15	-26	46	SO	30.29	54.92	100.52	151.78
CJ-11	427	-47	-14	50	SO	49.36	70.03	42.19	42.53
N1	63	-6	4	22	NO	7.74	23.15	44.84	126.29
N2	63	-28	12	13	NO	30.61	32.12	177.33	76.18
N3	63	3	-7	9	SE	7.44	11.78	43.13	52.84
N4	63	0	-6	8	SE	5.78	10.00	33.51	43.95

De los datos de la Tabla 10 se tiene que en los hitos CJ-2 al CJ-11 tienen la mayor variabilidad y por consiguiente el vector resultante, velocidad relativa (mm/año) y la velocidad vertical (mm/año) resulta mayor para estos hitos, cuyos datos se encuentran entre (54.92 mm a 128.74 mm respectivamente).

La variabilidad que existe entre los dos métodos de medida respecto al vector resultante, es significativa siendo más confiable los datos observados con DGPS, por cuanto la dirección y distancias del vector resultante son mucho menores de 3.6 a 27.96 mm, comparados con los resultados de la Estación Total que están entre 10 a 128.74 mm. (Figura 18 y 19), (Anexo 5. Se presenta los gráficos del vector resultante correspondiente a cada hito)

Figura 18. Variabilidad de los vectores de desplazamiento con DGPS y Estación Total en el hito CJ-2

Vector DGPS (CJ-2)	Vector Estación Total (CJ-2)
	
Distancia del Vector Resultante 7.87 mm. Dirección: SE	Distancia del Vector Resultante 58.70 mm Dirección: NO

En la Figura 18 se demuestra la variabilidad del vector que existe con los datos DGPS frente a los datos con Estación Total (ΔX , ΔY , ΔZ). Estos resultados son similares para los hitos CJ-3 al CJ-11 y N2. En la Figura 19 se observa que los vectores resultantes de los hitos N1, 3 y 4, presentan similar comportamiento entre los dos métodos de medida, (Anexo 5).

Figura 19. Variabilidad de los vectores de desplazamiento con DGPS y Estación Total en el hito N4

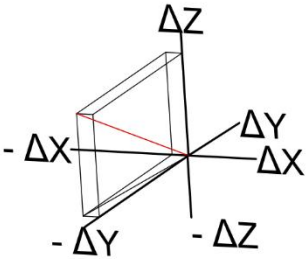
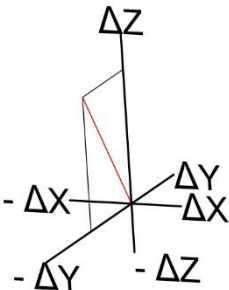
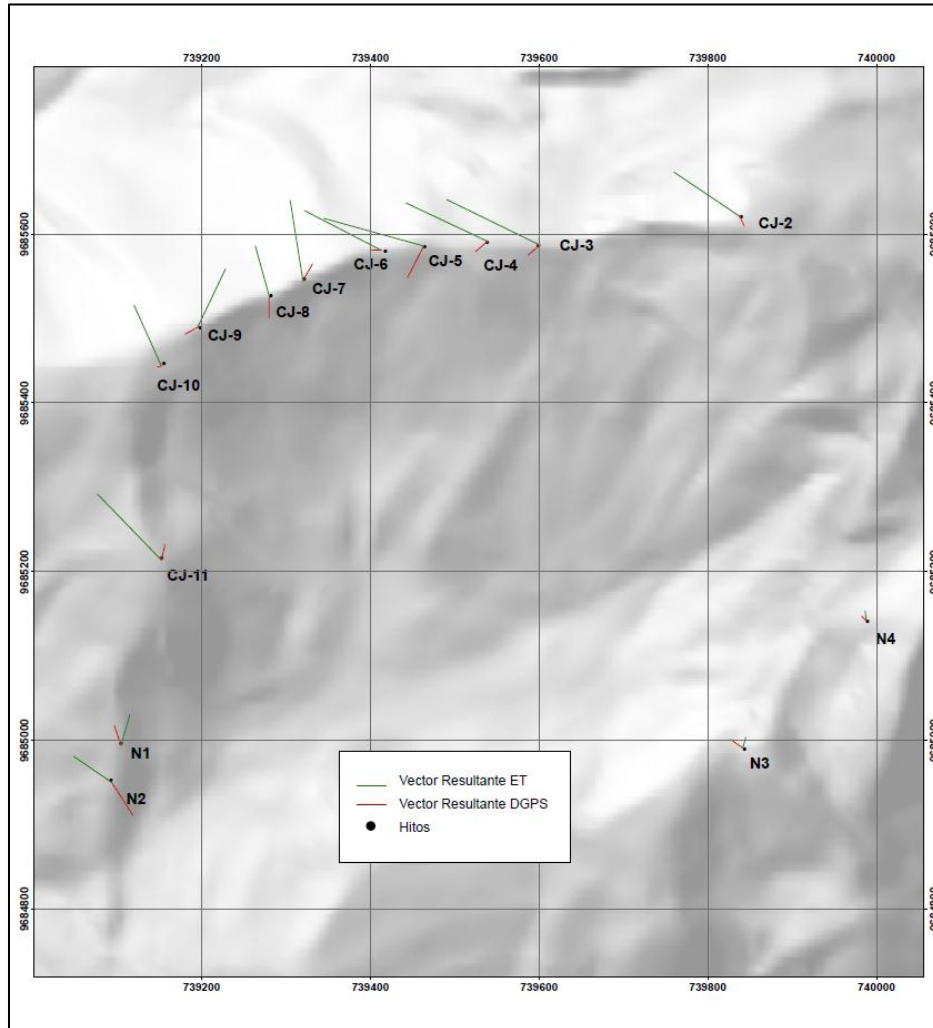
Vector DGPS (N4)	Vector Estación Total (N4)
	
<p>Distancia del Vector Resultante ΔX, ΔY, ΔZ, es 14.35 mm. Dirección: NO</p>	<p>Distancia del Vector Resultante ΔX, ΔY, ΔZ, es 10 mm Dirección: NO</p>

Figura 20. Representación gráfica de la dirección de los vectores resultantes en el área de estudio.



En la Figura 20 se representa gráficamente la dirección de los vectores tanto para DGPS como para Estación Total, notando considerablemente las diferencias de los resultados obtenidos con los dos métodos de medida, (Tabla 9 y 10).



ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez sistematizada la información respecto a los datos medidos con DGPS y Estación Total se obtiene la media y la desviación estándar de la variación de las observaciones a lo largo del eje X, Y y Z, en milímetros y a continuación evaluar su diferencia respecto de cero con un test apropiado ($p < 0.05$), por tanto se evalúa si son distintos o iguales a cero. Esto se lleva a cabo con el t-test para una muestra, de modo que indique la hipótesis nula, consiste en que no son diferentes de cero, hipótesis que se rechaza cuando la probabilidad sea < 0.05 .

Análisis de resultados para el eje X

Del análisis de los resultados de ΔX con datos DGPS se obtiene diferencias significativas para los hitos CJ-3, 4, 5, 6, 7, 9, N2 y N3. Con datos de Estación Total obtiene diferencias significativas para los hitos CJ-2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11.

Tabla 11: Medias y desviación estándar del ΔX (mm) según los métodos de DGPS y Estación total para todos los hitos y años de estudio. Comparación de sus diferencias respecto del valor nulo mediante el t-test.

Método	DGPS				Estación Total			
Hito	Media	DE	t	p	Media	DE	t	p
CJ-2	3,211	7,060	1,982	0,063	-48,978	14,951	-8,024	<0,001
CJ-3	-5,667	7,693	-3,125	0,006	-117,039	10,694	-26,808	<0,001
CJ-4	-9,737	8,359	-5,077	<0,001	-87,176	45,570	-4,686	0,005
CJ-5	-8,053	10,384	-3,380	0,003	-107,853	6,671	-39,599	<0,001
CJ-6	-5,158	5,795	-3,880	0,001	-91,177	8,730	-25,582	<0,001
CJ-7	6,529	7,019	3,836	0,001	-7,966	25,117	-0,777	0,472
CJ-8	2,278	8,757	1,104	0,285	-30,933	14,782	-5,126	0,004
CJ-9	-8,278	8,797	-3,992	0,001	35,616	20,079	4,345	0,007
CJ-10	-2,278	9,621	-1,004	0,329	-14,902	3,303	-9,022	0,003
CJ-11	2,563	7,474	1,371	0,190	-57,095	20,712	-6,752	0,001
N1	2,200 ¹	13,273	0,642	0,531	-6,305	2,751	-3,241	0,191
N2	16,166 ²	10,079	5,556	<0,001	-28,126	29,971	-1,327	0,411
N3	-6,733	8,302	-3,141	0,007	3,312	2,565	1,826	0,319
N4	-1,214	6,327	-0,718	0,485	0,003	2,497	0,002	0,999

¹ Hemos omitido la observación ID = 195, $\Delta X = -96,999$ mm, por ser un dato outlayer extremo.

² Hemos omitido la observación ID = 209, $\Delta X = 33,001$ mm, por ser un dato outlayer.



De la observación de los datos de la Tabla 11 se puede afirmar que, según el método DGPS, el ΔX en los hitos CJ-2, 4, 5, 6, 7, 9 y N2 y 3 es significativamente distinto de cero. Mientras que según el método de la Estación total, el ΔX en los hitos CJ-2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11 es significativamente distinto de cero. Estas diferencias son coincidentes por ambos métodos en los hitos CJ3, 4, 5, 6 y 9, únicamente.

Una vez comprobado que sí existen variaciones significativas, en los hitos mencionados, según los dos métodos estudiados, a lo largo del tiempo. Se investiga si estas variaciones tienen relación con algunas de las variables estudiadas (Tablas 12 y 13).

Se observa que utilizando el método DGPS, existe una leve (0 a 0.25) pero significativa correlación positiva entre los movimientos medidos en el eje X y la distancia del Hito a la base, de modo que cuando crece una lo hace la otra. No se observa correlación con los días transcurridos tras la medición inicial.

Tabla 12: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje X y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método DGPS.

Variables		Distancia a la base	Días transcurridos
ΔX (mm)	N	239	239
	r	0,193	0,048
	p	0,003	0,456



Tabla 13: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje X y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el uso de la Estación Total.

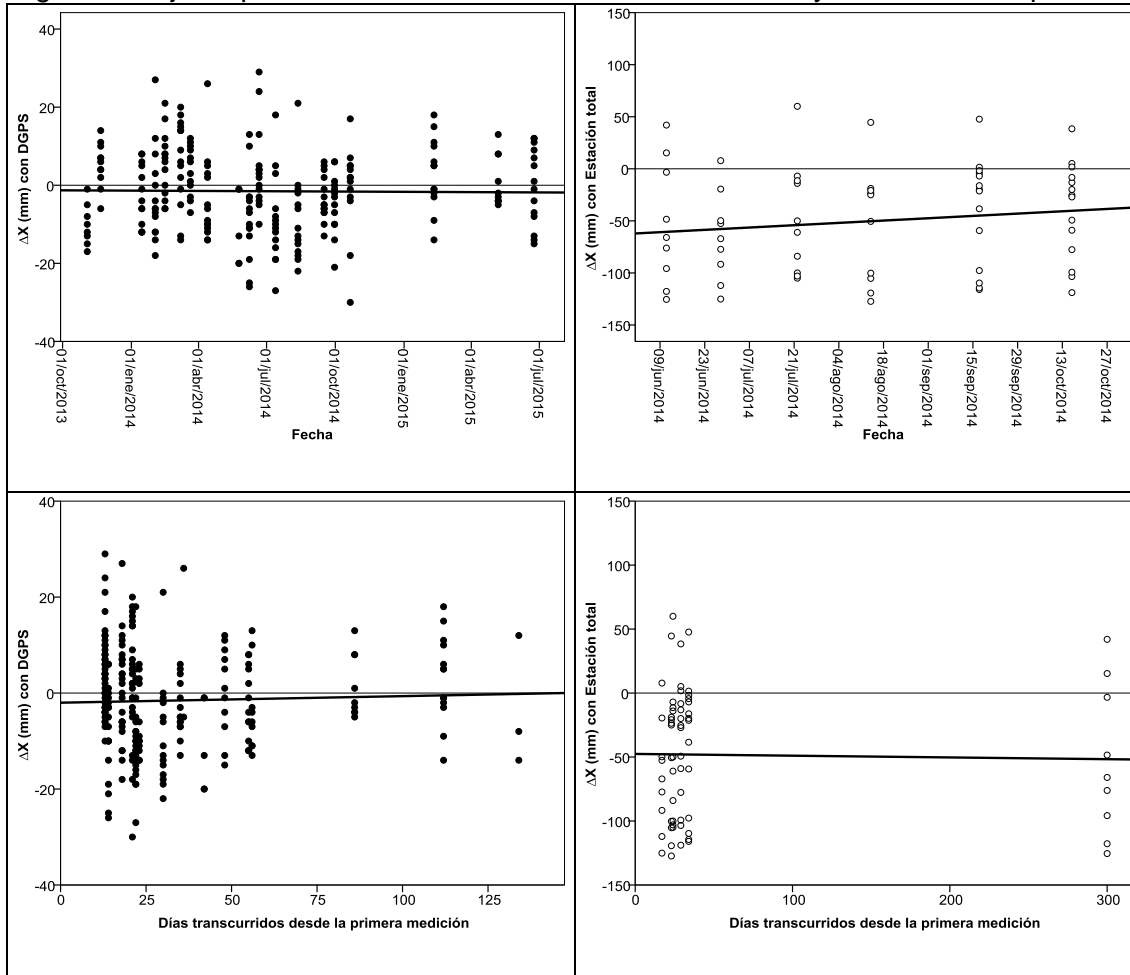
Variables		Distancia a la base	Días transcurridos
ΔX (mm)	N	66	66
	r	- 0,310	- 0,026
	p	0,011	0,838

Utilizando el método de la Estación total, existe una significativa correlación negativa entre los movimientos medidos en el eje X y la distancia del Hito a la base, de modo que cuando crece una disminuye la otra. No se observa correlación con los días transcurridos tras la medición inicial.

Ajuste por mínimos cuadrados (regresión lineal) de los datos DGPS y Estación Total para el ΔX .

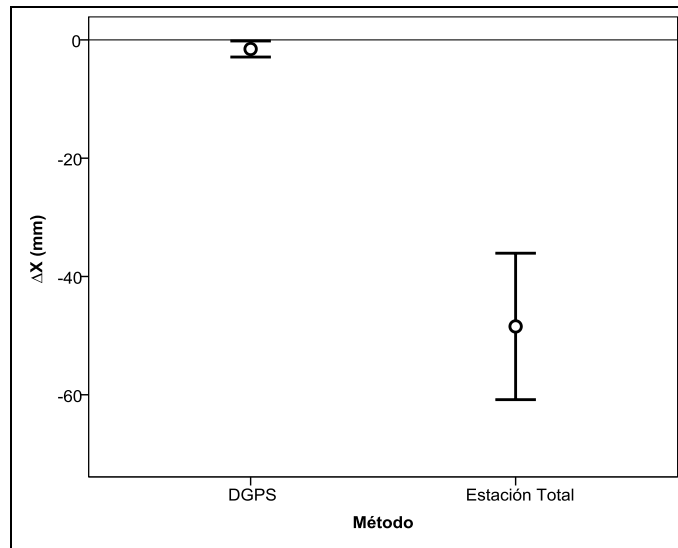
Se realizó el ajuste por mínimos cuadrados de las observaciones a lo largo del eje X. Izquierda y arriba, mediante la técnica del DGPS ($\Delta X = (-9,691e-009 \times (\text{Fecha} - \text{datetodouble("1582-10-14T00:00:00,000")}) + 130,485)$; $R^2_a = 0,004$; $p = 0,847$; Izquierda y abajo, mediante la técnica del DGPS ($\Delta X = (0,013 \times \text{días}) - 2,008$; $R^2_a = 0,003$; $p = 0,578$). Derecha y arriba, mediante el uso de una estación total ($\Delta X = (1,843e-006 \times (\text{Fecha} - \text{datetodouble("1582-10-14T00:00:00,000")}) - 25.169,812)$; $R^2_a = 0,005$; $p = 0,251$; Derecha y abajo, mediante el uso de una estación total ($\Delta X = (-0,013 \times \text{días}) - 47,576$; $R^2_a = 0,015$; $p = 0,838$).

Figura 21. Ajuste por mínimos cuadrados de los datos DGPS y Estación Total para el ΔX



Los resultados obtenidos en el eje X mediante los dos métodos de medida, demuestran que las variaciones son distintos, mediante el uso del DGPS ($-1,540 \pm 10,597$ mm) es significativamente menor ($F_{1,301} = 178,666$; $R_a^2 = 0,370$; $p < 0,001$) que la observada mediante el uso de una estación total ($-48,446 \pm 50,359$ mm). En la Figura 22 se muestran los intervalos de confianza según los métodos empleados para ΔX .

Figura 22: Representación gráfica del intervalo de confianza al 95% de los ΔX (mm) medidos a través del DGPS y la Estación total.



Análisis de resultados para el eje Y

Del análisis de los resultados de la Tabla 15 para el ΔY con datos DGPS se obtiene diferencias significativas para los hitos CJ-3, 5, 6, 7, 8, 11, N3 y N4. Y con datos de Estación Total se también se obtiene diferencias significativas para los hitos CJ-2, 5, 6, 7, 8, 10 y 11.



Tabla 14: Medias y desviación estándar del ΔY (mm) según los métodos de DGPS y Estación total para todos los Hitos y años de estudio. Comparación de sus diferencias respecto del valor nulo mediante el t-test.

Método	DGPS				Estación Total			
Hito	Media	DE	t	p	Media	DE	t	p
CJ-2	1,842	7,198	1,116	0,279	24,553	6,525	9,217	<0,001
CJ-3	-9,666	12,970	-3,162	0,006	0,102	9,723	0,026	0,980
CJ-4	0,210	7,976	0,115	0,910	0,319	9,756	0,080	0,939
CJ-5	-13,000	9,637	-5,789	<0,001	20,611	4,776	10,569	<0,001
CJ-6	-9,737	5,998	-7,075	<0,001	-50,223 ³	3,893	-25,802	<0,001
CJ-7	-5,000	8,418	-2,449	0,026	-34,244	7,088	-11,834	<0,001
CJ-8	-10,166	8,118	-5,313	<0,001	-27,329	6,194	-10,807	<0,001
CJ-9	-1,166	6,989	-0,708	0,488	-9,457	9,987	-2,320	0,068
CJ-10	-2,778	11,512	-1,024	0,320	-26,375	5,704	-9,246	0,003
CJ-11	-6,062	8,880	-2,731	0,015	-21,214	14,537	-3,574	0,016
N1	-6,533 ⁴	12,420	-2,037	0,061	4,488	1,964	3,231	0,191
N2	-3,154	11,524	-0,987	0,343	12,073	10,321	1,654	0,346
N3	-8,066	10,166	-3,073	0,008	-6,667	1,075	-8,768	0,072
N4	-13,500	8,140	-6,205	<0,001	-5,784	1,893	-4,320	0,145

De la observación de los datos de la Tabla 14 se puede afirmar que, según el método DGPS, el ΔY en los hitos CJ-3, 5, 6, 7, 8, 11 y N3 y 4 es significativamente distinto de cero. Mientras que según el método de la Estación total, el ΔY en los hitos CJ-2, 5, 6, 7, 8, 10 y 11 es significativamente distinto de cero.

Estas diferencias son coincidentes por ambos métodos en los hitos CJ-5, 6, 7, 8 y 11, únicamente; siendo en el CJ-5 de distinto signo.

³ Hemos omitido las observaciones ID = 265, ΔY = -87,652 mm, ID = 266, ΔY = -83,000 mm por ser datos outlier.

⁴ Hemos omitido la observación ID = 185, ΔY = 23,00 mm, por ser un dato outlier.



Tabla 15: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje Y y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método DGPS.

Variables		Distancia a la base	Días transcurridos
ΔY (mm)	N	238	238
	r	-0,032	-0,313
	p	0,621	<0,001

Utilizando el método DGPS, no se observa correlación entre los movimientos medidos en el eje Y y la distancia del hito a la base. Mientras que sí se observa una correlación negativa y significativa entre los movimientos en el eje Y y los días transcurridos desde la medición de referencia, de modo que, según avanza el tiempo disminuyen estos movimientos.

Tabla 16: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje Y y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método Estación Total.

Variables		Distancia a la base	Días transcurridos
ΔY (mm)	N	64	64
	r	- 0,003	0,026
	p	0,979	0,839

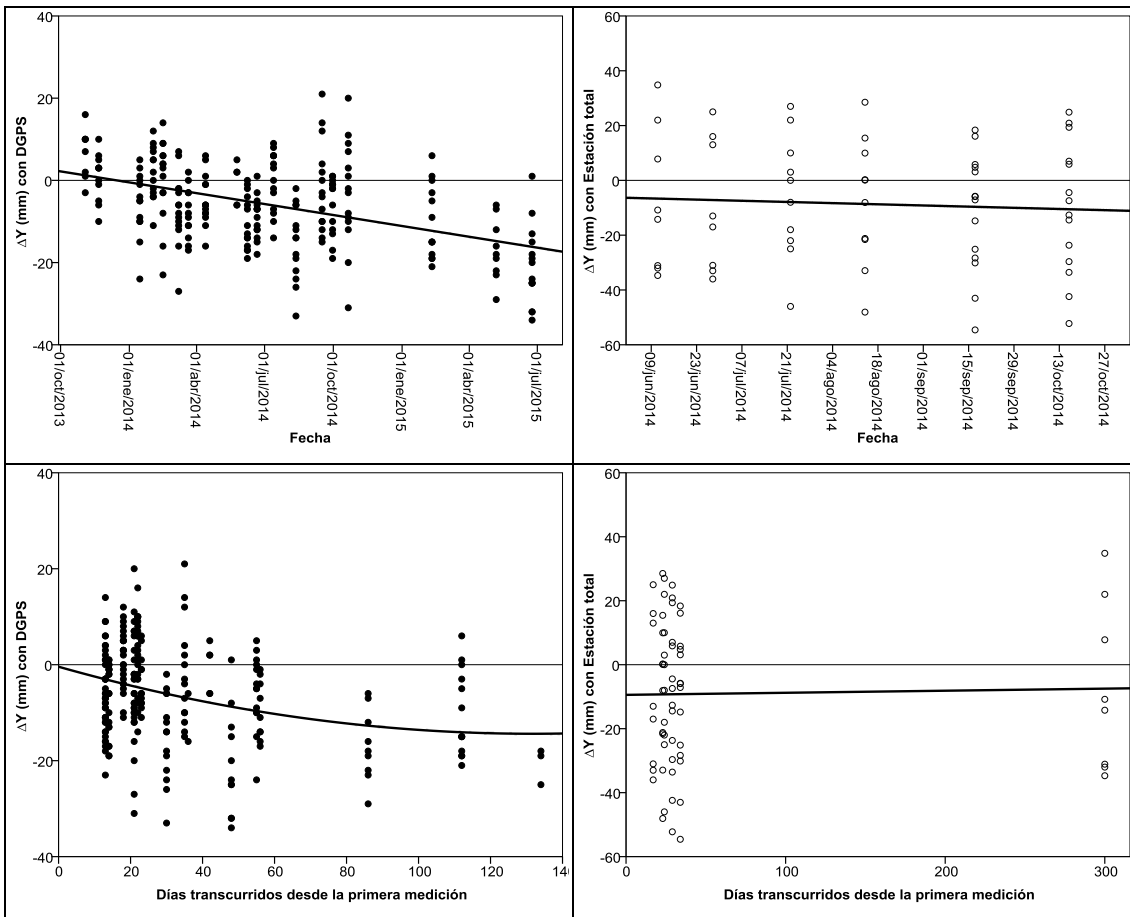
Utilizando el método de la Estación total, no se observa correlación entre los movimientos del eje Y ni con la distancia del hito a la Base, ni con los días transcurridos tras la medición inicial.



Ajuste por mínimos cuadrados (regresión lineal) de los datos DGPS y Estación Total para el ΔY .

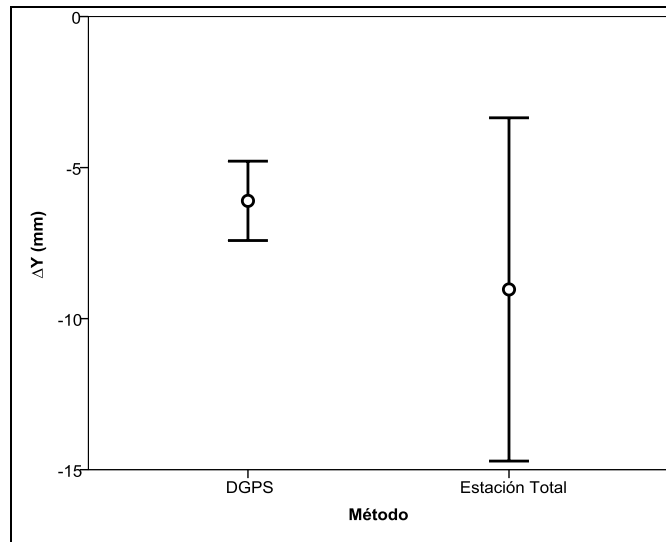
Ajuste por mínimos cuadrados (regresión lineal) de las observaciones a lo largo del eje Y. Izquierda y arriba, mediante la técnica del DGPS ($\Delta Y = (-3,366e-007 \times (\text{Fecha} - \text{datetodouble}("1582-10-14T00:00:00,000")) + 4579,456)$; $R^2_a = 0,200$; $p < 0,001$; Izquierda y abajo, mediante la técnica del DGPS ($\Delta Y = -0,422 - (0,212 \times \text{días}) + (0,0008 \times \text{días}^2)$); $R^2_a = 0,095$; $p < 0,001$. Derecha y arriba, mediante el uso de una estación total ($\Delta Y = (-3,536e-007 \times (\text{Fecha} - \text{datetodouble}("1582-10-14T00:00:00,000")) + 4810,723)$; $R^2_a = 0,012$; $p = 0,636$; Derecha y abajo, mediante el uso de una estación total ($\Delta Y = (0,006 \times \text{días}) - 9,426$); $R^2_a = 0,015$; $p = 0,839$).

Figura 23. Ajuste por mínimos cuadrados de los datos DGPS y Estación Total para el ΔY



De acuerdo a los resultados con los dos métodos de medida la variación observada mediante el uso del DGPS ($-6,101 \pm 10,286$ mm) no es significativamente distinta ($F_{1,300} = 2,257$; $R^2_a = 0,004$; $p = 0,134$) que la observada mediante el uso de una Estación Total ($-9,033 \pm 22,745$ mm). Esto es debido fundamentalmente a la gran variabilidad de las observaciones según el método de la Estación Total (ver Figura 22).

Figura 24: Representación gráfica del intervalo de confianza al 95% de los ΔY (mm) medidos a través del DGPS y la Estación total.



Análisis de resultados para el Eje Z

En la Tabla 17 se enumera las medias y la desviación estándar de la variación de las observaciones a lo largo del eje Z, en milímetros, mediante los dos métodos, para, a continuación, evaluar su diferencia respecto de cero con un test apropiado.



Tabla 17: Medias y desviación estándar del ΔZ (mm) según los métodos de DGPS y Estación total para todos los Hitos y años de estudio. Comparación de sus diferencias respecto del valor nulo mediante el t-test.

Método	DGPS				Estación Total			
Hito	Media	DE	t	p	Media	DE	t	p
CJ-2	-6,631	10,766	-2,685	0,015	21,583	19,789	2,671	0,044
CJ-3	-5,278	11,786	-1,900	0,075	48,604	53,241	2,236	0,076
CJ-4	0,473	8,675	0,238	0,815	34,549	26,131	3,239	0,023
CJ-5	-19,052	16,946	-4,901	<0,001	16,804	57,052	0,721	0,503
CJ-6	2,000	10,984	0,794	0,438	60,167	65,597	2,247	0,075
CJ-7	13,059	16,072	3,350	0,004	82,048	56,059	3,585	0,016
CJ-8	-11,500	15,749	-3,098	0,007	121,684	31,478	9,469	<0,001
CJ-9	-5,444	14,201	-1,627	0,122	81,750	77,139	2,569	0,048
CJ-10	0,111	14,660	0,032	0,975	45,742	13,757	6,650	0,007
CJ-11	12,000	22,838	2,102	0,053	62,823	45,958	3,348	0,020
N1	9,000 ⁵	30,145	1,156	0,267	21,797	4,993	6,174	0,102
N2	-17,538	26,120	-2,421	0,032	13,148	8,794	2,114	0,281
N3	7,200	25,191	1,107	0,287	9,121	3,881	3,323	0,186
N4	6,000	22,312	1,006	0,333	7,585	2,565	4,182	0,149

De la observación de los datos de la Tabla 19 se puede afirmar que, según el método DGPS, el ΔZ en los hitos CJ-2, 5, 7, 8 y N2 es significativamente distinto de cero. Mientras que según el método de la Estación Total, el ΔZ en los hitos CJ-2, 4, 7, 8, 9, 10 y 11 es significativamente distinto de cero, por tanto el comportamiento de las variaciones en el eje X son similares en los dos métodos de medida.

Estas diferencias son coincidentes por ambos métodos en los hitos CJ-2, 7 y 8 únicamente; siendo en el CJ-2 y 8 de distinto signo.

Una vez comprobado que sí existen variaciones significativas, en los hitos mencionados, según los dos métodos estudiados, a lo largo del tiempo. Se observa que existe correlación positiva y significativa entre los movimientos medidos en el eje Z y la distancia del hito a la base, de modo que cuando aumenta una lo hace la otra. Mientras que no se

⁵ Hemos omitido la observación ID = 190, $\Delta Z = 91,000$ mm, por ser un dato outlayer extremo.



observa correlación entre los movimientos en el eje Z y los días transcurridos desde la medición de referencia. (Tabla 18 y 19).

Tabla 18: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje Z y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método DGPS.

Variables		Distancia a la base	Días transcurridos
ΔZ (mm)	N	238	238
	r	0,130	-0,028
	p	0,046	0,662

Tabla 19: Número de observaciones (N), coeficiente de correlación de Pearson (r) y significación (p) de la correlación bivariada entre el movimiento medido a lo largo del eje Z y la distancia a la base de corrección diferencial, y los días transcurridos desde la medición inicial, según el método Estación Total.

Variables		Distancia a la base	Días transcurridos
ΔZ (mm)	N	66	66
	r	0,190	0,060
	p	0,127	0,632

Utilizando el método de la Estación Total, no se observa correlación entre los movimientos del eje Z ni con la distancia del hito a la base, ni con los días transcurridos tras la medición inicial.

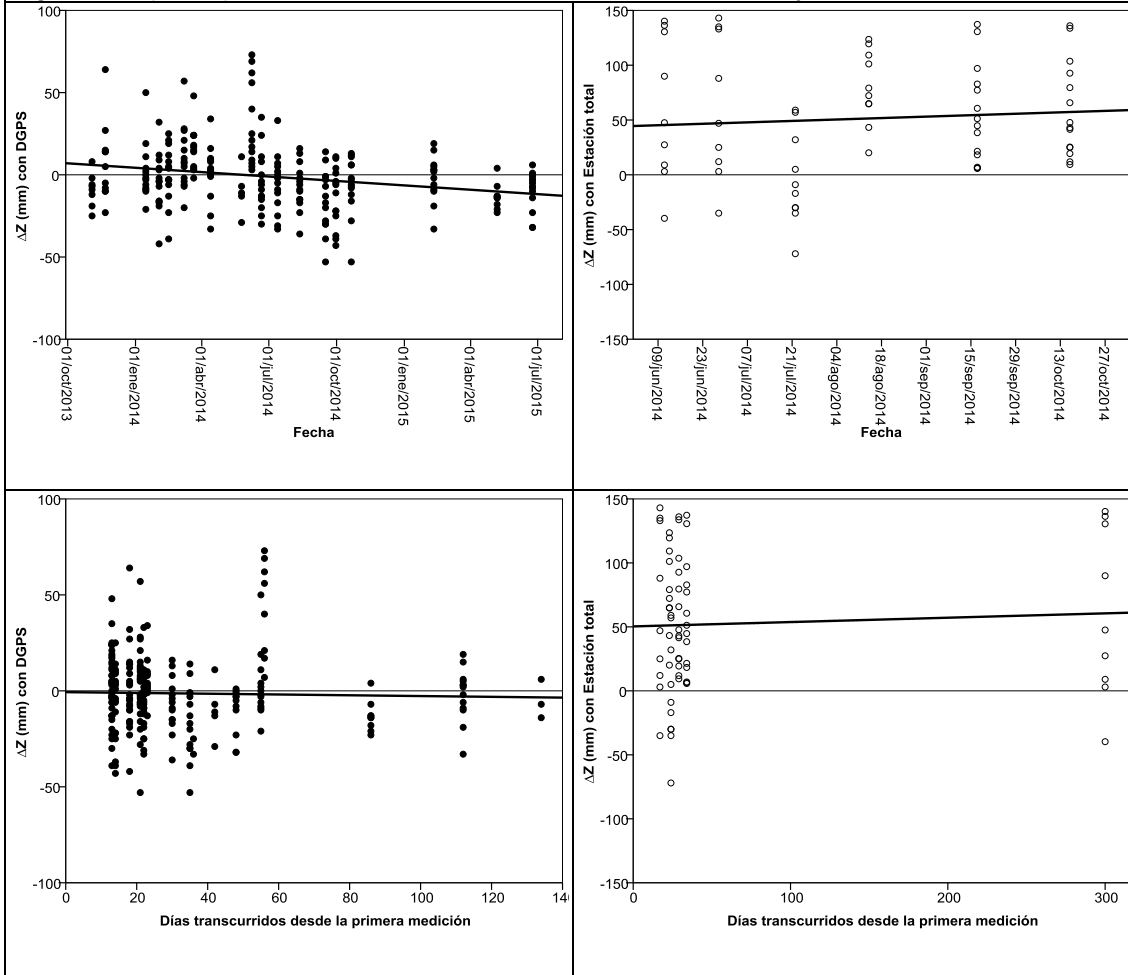
Ajuste por mínimos cuadrados (regresión lineal) de los datos DGPS y Estación Total para el ΔZ .

Ajuste por mínimos cuadrados (regresión lineal) de las observaciones a lo largo del eje Z. Izquierda y arriba, mediante la técnica del DGPS ($\Delta Z = (-3,399e-007 \times (\text{Fecha} - \text{datetodouble "1582-10-14T00:00:00,000"})) + 4629,699$); $R^2_a = 0,051$; $p < 0,001$; Izquierda y abajo, mediante la técnica del DGPS ($\Delta Z = -0,677 - (0,020 \times \text{días})$); $R^2_a = 0,003$; $p = 0,662$. Derecha y arriba, mediante el uso de una estación total ($\Delta Z = (1,081e-006 \times$



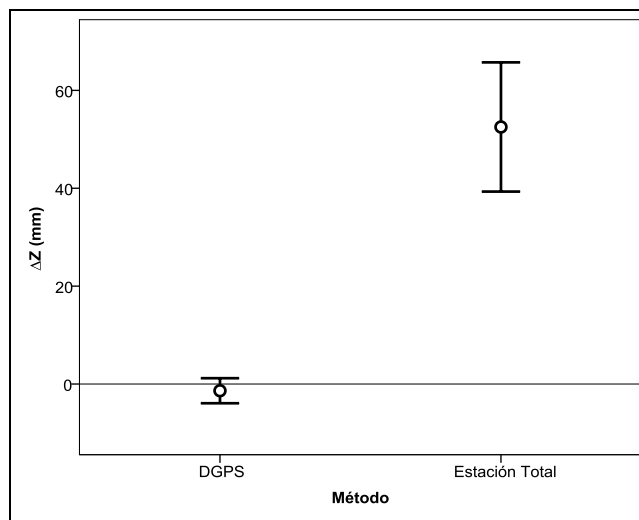
(Fecha – datetodouble ("1582-10-14T00:00:00,000")) -14680,671); $R^2_a = 0,009$; $p = 0,529$; Derecha y abajo, mediante el uso de una estación total ($\Delta Z = (0,034 \times \text{días}) + 50,353$); $R^2_a = 0,012$; $p = 0,632$).

Figura 25 Ajuste por mínimos cuadrados de los datos DGPS y Estación Total para el ΔY



Se observa que los resultados obtenidos en el eje Z mediante los dos métodos de medida son distintos, cuya variación observada mediante el uso del DGPS ($-1,370 \pm 20,036$ mm) es significativamente menor ($F_{1,302} = 160,360$; $R^2_a = 0,345$; $p < 0,001$) que la observada mediante el uso de una Estación Total ($52,521 \pm 53,703$ mm).

Figura 26: Representación gráfica del intervalo de confianza al 95% de los ΔZ (mm) medidos a través del DGPS y la Estación total.





4.2. Conclusiones y Recomendaciones:

Para la evaluación del movimiento de terreno del Cerro Tamuga se realizó el monitoreo de los hitos que bordean la zona del deslizamiento, no así el área deslizada por cuanto durante el periodo de observaciones se ejecutaban obras de estabilización, siendo importante en lo posterior monitorear toda el área del deslizamiento de manera periódica con la finalidad de conocer si existe movimiento en masa de toda el área afectada.

Uno de los factores que pueden influir directamente en la precisión de los resultados obtenidos con Estación Total es el factor humano así como la distancia de medida desde la base hacia el hito, puesto que a mayor distancia mayor probabilidad de perder precisión en el levantamiento, cuya distancia al hito más cercano es de 796.086 m y la distancia al hito más alejado es de 1374.426 m, esto para la medición que se realiza desde la base B-JOS-02 y las distancias desde la base B-JOS-01 hacia los hitos están entre 1107,612 m y 2112,127 m respectivamente, este procedimiento se utiliza para realizar la triangulación entre los datos topográficos, cuyos resultados demuestran que en este caso los datos medidos con DGPS son más confiables al tener vectores resultantes que están en un rango de 3.6 mm a 27.96 mm de distancia, mientras que para Estación Total están en un rango de 10 mm a 128.74 mm (Tabla 9 y 10).

Al tener vectores resultantes de hasta 128.74 mm medidos con Estación Total para el caso de hito CJ-8, indica que existe movimiento de terreno, mientras tanto al comparar los resultados con los datos medidos en el mismo hito con técnicas DGPS demuestra que se tiene un movimiento menor de 15.74 mm, con estos resultados al validar en campo se comprueba que son más confiables las observaciones realizadas con DGPS.

Durante al periodo de estudio se determinó que mediante las mediciones con DGPS, éste no presenta movimientos del Cerro Tamuga, pero se deben continuar las campañas de monitoreo para analizar la situación a largo plazo

Durante las observaciones con DGPS, las probabilidades de cometer errores por el factor humano son mínimos, sin embargo, no se descarta que existen factores externos que



influyen en la precisión como son: errores dependientes del satélite, de la propagación de la señal y errores dependientes del receptor, a diferencia de la estación total, la probabilidad de cometer errores por el factor humano son altas.

Los recursos empleados (Tiempo, dinero, personal técnico) con DGPS son mínimos para el monitoreo en el Cerro Tamuga respecto a Estación Total, por cuanto para este último se necesita de un topógrafo y dos cadeneros por dos días en tanto que para DGPS se necesita por seguridad una persona en la Estación Base y un cadenero para el desplazamiento por los puntos de control con el receptor móvil.

El tiempo de medida con DGPS depende del grado de precisión que se desee alcanzar que para este caso ha utilizado el método Estático Rápido donde se considera un tiempo de 10 minutos en una distancia máxima de 1.2 km.

Es importante considerar que para las próximas observaciones con DGPS, tener como estación Base la estación de monitoreo continuo "CUENCA" a fin de tener información en tiempo real y mejorar la precisión optimizando tiempo y recursos.

Se recomienda continuar con el estudio del monitoreo con técnicas DGPS, utilizando el método RTK, a su vez con el avance de la tecnología aplicar nuevos métodos de medida como levantamientos mediante escáner laser a fin de tener el levantamiento completo del área afectada.

Al ubicar un punto de monitoreo deben de considerar el método con el cual se va a trabajar, que para el caso de observaciones con DGPS es indispensable evitar el efecto multipath (no estar cerca de edificaciones, muros, taludes, etc.), y en caso de que estos puntos sean imprescindibles deberán combinarse los métodos de medida (métodos convencionales) a fin de cumplir con el objetivo.

Para los hitos N1 al N4 es importante apoyarse con métodos de medición topográfica o a su vez considerar el tiempo de medida de 20 minutos en cada hito con la finalidad de mejorar la precisión y obtener los resultados esperados.

Universidad de Cuenca



Para realizar las observaciones con Estación Total se deberá utilizar los equipos indispensables en los puntos de control (Trípode, Base Nivelante, Jalón y Prisma) los cuales deberán estar debidamente calibrados.



BIBLIOGRAFÍA.

- Agugliaro, F. (2000). Introducción al Sistema GPS: Principios y Funcionamiento.
- Aguilar, M. (2001). Desarrollo de una Metodología de cálculo de Redes Geodésicas Observadas Mediante GPS. Córdoba.
- Aguilera, M. (2001). Desarrollo de una Metodología de cálculo de Redes Geodésicas Observadas Mediante GPS. Córdoba.
- Alejandro Riveros, et al. (s.f.). Que es GPS. Chile.
- Ayala, A. (2012). Aplicaciones y uso de la Tecnología de GPS Diferencial de Doble Frecuencia con Precisión Centimétrica en el Área de Levantamiento y Replanteo Topográfico Georeferenciado. El Salvador.
- Belizario Zarate, 2. (2011). Monitoreo de Movimientos de Ladera en el Sector de San Pedro de Vilcabamba mediante procedimientos GPS.
- Cacya., L. (2004). Método de Evaluación de los Deslizamientos. Compendio de Trabajos de Investigación CNDG - Biblioteca.
- CG-PAUTE. (2010). Estabilización del Talud Frontal del Cerro Tamuga.
- Diego Guandique, et al. (2014). Manual Técnico para el Levantamiento Geodésico con GPS de una Frecuencia Aplicando el Sistema Global de Navegación (GNSS) Utilizando un Modelo Geoidal y su Análisis Comparativo con Levantamiento Topográfico con Estación Total. El Salvador.
- Fárez, C. (2010). Implantación de una Estación Permanente GNSS en el Campus de la Universidad Técnica Particular de Loja. Loja.
- García, D. (2009). Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System). Madrid.
- Ghio, G. (2008). Sistemas de Posicionamiento Global (GPS): Conceptos, Funcionamiento, Evolución y Aplicaciones. Chile.
- Gili, J. (2000). Instrumentación para Control de Movimientos de Ladera: Sistema GPS y Otros.
- González, O. (2007). Proyecto de implantación de una red básica mediante. Madrid.
- Hernandez, Morcillo. et al. (2006). La Planificación Sostenible a través del SIG y la Teledetección. El Acceso a la Información Espacial y las Nuevas Tecnologías Geográficas.



- Hervás, J., et al. (2002). Elaboración de Mapas de Susceptibilidad de Deslizamientos Mediante SIG, Teledetección y Métodos de Evaluación Multicriterio. Instituto Geológico y Minero de España, 169-180.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, e. a. (2007). Sistema de Posicionamiento Global GPS. Guajira.
- José Gili, e. a. (2009). Mejoras Introducidas en la Red Local de Monitorización de Movimientos de Cardona al Trabajar con Doble Constelación GNSS. CATALUÑA.
- José Gili, et. al. (2009). MEJORAS INTRODUCIDAS EN LA RED LOCAL DE MONITORIZACIÓN DE MOVIMIENTOS DE CARDONA AL TRABAJAR CON DOBLE FRECUENCIA.
- M Ramos Galán, et. al. (2003). Estudio de Deslizamientos de Ladera en Olivar con Pendiente.
- Marchamalo, M. et al. (2011). La tecnología DGPS en la construcción: Control de Movimientos en Grandes Estructuras. Informes de la Construcción Vol. 63, 522, 93-102.
- Pachas, R. (2009). Levantamiento Topográfico: Uso del GPS y Estación Total. Venezuela.
- Pedro Basabe, e. (1996). Avance en la Prevención de desastres Naturales en la Cuenca del Río Paute, Ecuador. Cuenca.
- Pedro Basade, et.al. (1996). AVANCE EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES EN LA CUENCA DEL RIO PAUTE. 443-458.
- Peñafiel, J. (2009). Fundamentos del Sistema GPS y Aplicaciones en la Topografía.
- Pozo, Ruz. (2000). Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Descripción, Análisis. Instituto de Automática Industrial.
- R. Tomás, et al. (2005). Técnicas de Ingeniería Cartográfica Empleadas en el Estudio de Subsistencia y Movimientos de Ladera. Universidad de Alicante, España.
- R. Tomas, et. al. (2010). Técnicas de Ingeniería Cartográfica Empleadas en el Estudio de Subsistencia y Movimientos de Ladera: Principales Características y Análisis Comparativo.
- Ramos, et al. (2003). Estudio de Deslizamiento de Ladera en Olivar con Pendiente.